

Doświadczenia z eksploatacji zmodernizowanej dołowej lokomotywy elektrycznej Ld-31EM

mgr inż. Przemysław Deja
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

Lokomotywy Ld-31EM przeznaczone są 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. Okres rocznej eksploatacji pierwszego egzemplarza tej lokomotywy w KWK „Piaś” pozwolił na zebranie istotnych doświadczeń przez użytkowników, producenta i konstruktorów. W tym czasie lokomotywa pracowała poprawnie, jednakże użytkownicy wnieśli uwagi związane z polepszeniem parametrów eksploatacyjnych, jak i komfortu pracy operatora. Uwzględniono je podczas opracowywania udoskonalonej wersji lokomotywy, szczególnie w zakresie wyposażenia elektrycznego. Nowo opracowana lokomotywa, o mniejszych gabarytach i mniejszej masie własnej, stanowi rozszerzenie oferty lokomotyw Ld-31EM mających docelowo zastąpić lokomotywy typu Ld-31 (Ld-21). Przedstawiono wpływ dokonanych zmian na eksploatację lokomotywy.

Słowa kluczowe: górnictwo, transport podziemny, lokomotywa dołowa elektryczna (Ld-31EM), kopalniana trakcja elektryczna, silnik z magnesami trwałymi, falownik

Keywords: mining industry, underground transport, electric underground locomotive (Ld-31EM), mine electric traction, motor with permanent magnets, converter

Abstract:

Ld-31EM locomotives are design for transport of materials and people in the underground roadways of coal, ore and salt mines that are non-hazardous in terms of explosion of coal dust and in underground roadways marked with “a” degree of methane explosion hazard. One year of operation of the first Ld-31EM locomotive in KWK Piaś mine allowed gaining relevant experience by users, producers and designers. The locomotive operated correctly, however, users point out to improve of operating parameters and operator’s comfort. Those comments were considered during developing the enhanced version of the locomotive, especially as regards the electric equipment. The newly-design locomotive of smaller dimensions and lower dead weight is an extension of the Ld-31EM locomotives offer that are to replace locomotives type Ld-31 (Ld-21). Impact of the design changes on locomotive operation is presented.

1. Wprowadzenie

Wynikiem współpracy Instytutu Techniki Górniczej KOMAG oraz firmy Energo-Mechanik Sp. z o.o. ze Strzelec Opolskich jest uruchomienie produkcji i wdrożenie do eksploatacji lokomotyw dołowych elektrycznych Ld-31EM. Lokomotywy te są alternatywą dla eksploatowanych w polskim górnictwie podziemnym lokomotyw Ld-31 (Ld-21), wyprodukowanych przez Chorzowską Wytwórnę Konstrukcji Stalowych KONSTAL jeszcze w latach 70-tych i 80-tych ubiegłego wieku.

Lokomotywa Ld-31EM jest konstrukcją jednobryłową, z kabiną operatora usytuowaną w środkowej części maszyny. Napędy lokomotywy bazują na bezszczotkowych silnikach z magnesami trwałymi, zasilanymi z przekształtników energoelektronicznych, za pośrednictwem których odbywa się sterowanie kierunkiem oraz prędkością jazdy. Każdy zestaw kołowy napędzany jest niezależnie. Stan pracy lokomotywy jest monitorowany, a wyniki wyświetlane na pulpicie sterowniczym. Dodatkowo, lokomotywa wyposażona jest

w czuwak (przycisk na manipulatorze połączony z układem sterowania). Więcej informacji na temat lokomotywy zamieszczono w [1] i [4].

Okres rocznej eksploatacji lokomotywy Ld-31EM w Kopalni Węgla Kamiennego „Piast” (rys. 1) pozwolił na zebranie doświadczeń przez użytkowników, producenta i konstruktorów.



Rys. 1. Pierwszy egzemplarz lokomotywy Ld-31EM w KWK „Piast” [2]

W tym okresie lokomotywa (rys. 1) funkcjonowała poprawnie, niemniej użytkownicy wnieśli uwagi związane z poprawą jej parametrów eksploatacyjnych, jak i komfortu pracy operatora. Istniejąca w KWK „Piast” infrastruktura kopalnianej kolei podziemnej wymagała dostosowania lokomotywy, zwłaszcza zmniejszenia jej gabarytów. Szerokość lokomotywy Ld-31EM nie pozwalała w niektórych przypadkach na bezpieczne minięcie się dwóch pojazdów, a jej długość powodowała zwiększone (w stosunku do Ld-31 i Ld-21) zachodzenie na łukach w trakcie przejazdu przez zakręty.

Uwagi użytkowników dotyczyły głównie:

- zmniejszenia szerokości lokomotywy o 100 mm oraz długości o 200 mm,
- konieczności zabudowy układu luzowania hamulca w przypadku awarii lokomotywy, niewymagającego demontażu pokryw i blach osłonowych, np. w formie mechanizmu śrubowego uruchamianego z kabiny,
- zabudowy piasecznic działających na koła prawe i lewe,
- konieczności przystosowania układu hamulcowego (sprężynowo - pneumatycznego) do szkieletu lokomotywy o szerokości 1050 mm,
- konieczności zmian w zakresie wyposażenia elektrycznego.

Wszystkie uwagi uwzględniono podczas opracowywania zmodernizowanej lokomotywy (rys. 2). Wiązało się to z koniecznością zmiany wyposażenia elektrycznego, dostosowanego do nowych wymiarów gabarytowych oraz zmniejszonej masy.



Rys. 2. Zmodernizowana lokomotywa Ld-31EM w KWK „Piast” [2]

Poniżej przedstawiono zmiany wprowadzone w układzie elektrycznym lokomotywy oraz ich wpływ na jej eksploatację.

2. Zmiany w układzie elektrycznym lokomotywy

W celu dostosowania gabarytów lokomotywy do infrastruktury kolei kopalnianej KWK „Piast”, poza szkieletem i układem hamulcowym w pierwszej kolejności zmieniono układ napędowy oraz konstrukcje skrzyń elektrycznych: zespołu zasilania i modułów przekształtnika energoelektronicznego. Na podstawie obliczeń [5] określono parametry układu napędowego, natomiast parametry zespołów do zabudowy w skrzyniach elektrycznych wyznaczono m. in. w ramach analizy wielkości zmierzonych w trakcie badań lokomotywy Ld-31EM [3]. Wyznaczone w trakcie badań, maksymalne momenty obrotowe silnika występowały podczas wprawiania składu pociągu w ruch. Podczas ruchu ustalonego pociągu zapotrzebowanie na moment silnika malało. Dlatego w układzie napędowym (rys. 3) zastosowano silnik z magnesami trwałymi dostosowany do zmierzonej wartości momentu i zmniejszonej masy.

W tabeli 1 przedstawiono parametry znamionowe zastosowanych silników.

Dane znamionowe silników napędowych lokomotywy [7, 8]

Tabela 1

Typ silnika	PMPg 250L *	PMPg 250L-w **
Rodzaj pracy	S2-60min	S2-120min
Moc znamionowa P_N [kW]	60	40
Napięcie znamionowe U_N [V]	120	75
Prąd znamionowy I_N [A]	312	375
Moment znamionowy T_N [Nm]	550	588
Prędkość obrotowa n_N [obr/min]	1080	650
Sprawność η_N [%]	93	93
Masa [kg]	572	545

* pierwszy egzemplarz lokomotywy, ** zmodernizowana lokomotywa



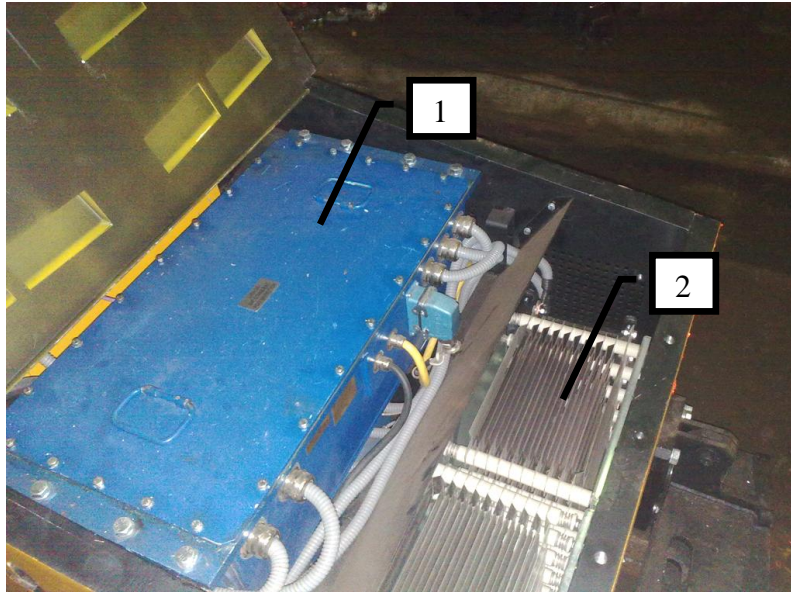
Rys. 3. Zestaw napędowy lokomotywy [2]

Zmniejszenie mocy silników umożliwiło zastosowanie innych podzespołów wyposażenia elektrycznego w zespole zasilania i modułów przekształtnika energoelektronicznego. Zastosowano m. in. nowoczesne styczniki prądu stałego oraz dławik prądu stałego o mniejszych gabarytach i większej sprawności. Ponadto, wszystkie bezpieczniki zabudowane w zespole zasilania wyprowadzono do wnętrza kabiny operatora. Łatwy i wygodny dostęp do wkładek bezpiecznikowych znacznie poprawił funkcjonalność użytkowania lokomotywy. Dostęp do bezpieczników umożliwia specjalna pokrywa z wizjerem (rys. 4).



Rys. 4. Wnętrze kabiny lokomotywy [2]

W związku z koniecznością zmniejszenia szerokości lokomotywy, zmiany wymagały także moduły przekształtnika energoelektronicznego (rys. 5). Do chłodzenia przekształtnika zastosowano inny typ wentylatora, o mniejszych gabarytach. Dodatkowo, wprowadzono sterowanie jego wydajnością w zależności od stopnia nagrzewania się przemiennika.



Rys. 5. Zabudowa wyposażenia elektrycznego [2]
1 - moduł przetwornika energoelektronicznego, 2 - rezystory hamowania

Kolejną zmianą w stosunku do pierwszego egzemplarza lokomotywy jest odbierak prądu (rys. 6), służący do bezpiecznego przekazywania energii elektrycznej z przewodu trakcyjnego do maszyny. W pierwszej wersji zastosowano jedyny oferowany na rynku odbierak prądowy, produkcji niemieckiej, spełniający wymagane parametry. Wadą tego rozwiązania było znaczne ograniczenie pola widzenia operatora lokomotywy oraz brak możliwości ręcznego, mechanicznego opuszczania, jak również jego wysoki koszt, co miało bezpośrednie przełożenie na cenę lokomotywy. Firma Energo-Mechanik Sp. z o.o. zdecydowała się na opracowanie odbieraka prądu własnej konstrukcji.



Rys. 6. Odbierak prądu [2]

Uproszczono również układ sterowania. W pierwszym egzemplarzu zastosowano osobny koncentrator sygnałów, do którego podłączono część obwodów sterowniczych.

W zmodernizowanej wersji lokomotywy wszystkie czujniki oraz elementy sterownicze podłączono bezpośrednio do pulpitu sterowniczego.

Istotną jest także zmiana lokalizacji położenia reflektorów głównych. W pierwszym egzemplarzu lokomotywy reflektory główne zabudowano na płycie czołowej szkieletu lokomotywy, co umożliwiała dobre oświetlenie toru jazdy. Jednakże podczas prac transportowych reflektory ulegały częstym uszkodzeniom, np. podczas transportowania długich, źle zabezpieczonych materiałów. Użytkownicy postulowali, aby reflektor umieścić na ścianie czołowej kabiny operatora (rys. 2). Taka zmiana nieznacznie pogorszyła warunki oświetlenia toru jazdy lokomotywy, jednakże po przeprowadzonych badaniach przez Jednostkę Certyfikującą Wyroby dopuszczono zmianę zabudowy reflektorów.

W tabeli 2 przedstawiono podstawowe parametry lokomotyw Ld-31EM.

Parametry lokomotyw Ld-31EM [6]

Tabela 2

Lokomotywa	Pierwszy egzemplarz	Zmodernizowana
Siła uciągu na haku [Nm]	38	38
Maksymalna prędkość jazdy [m/s]	5	5
Moc silników [kW]	2× 60	2× 40
Rozstaw torów [mm]	600	600
Długość między zderzakami [mm]	5800	5600
Wysokość od główki szyny [mm]	1700	1700
Szerokość [mm]	1200	1100
Masa [kg]	14000	12000

Nowa wersja lokomotywy ma mniejszą długość, szerokość i masę, jak również mniejszą moc silników napędowych.

Po wprowadzonych zmianach i przeprowadzonych badaniach producent otrzymał rozszerzenie Certyfikatu Badania Typu dla lokomotywy Ld-31EM.

3. Eksploatacja lokomotywy

Po przekazaniu przez producenta zmodernizowanej lokomotywy Ld-31EM do kopalni, ulokowano ją w zajezdni elektrowozów w pobliżu szybu nr I. Zdecydowano, że w pierwszym okresie eksploatacji będzie ona wykorzystana do zestawiania pociągów towarowych z materiałami pomocniczymi. W KWK „Piast” torowisko i rozjazdy stosowane na drogach przewozowych wykonane są z szyn S-42 i S-49 i ułożone są na podkładach drewnianych o rozstawie toru 600 mm. Przewód jezdy sieci trakcyjnej ma przekrój 100 mm². Łączność bezprzewodowa prowadzona jest z wykorzystaniem światłowodu. Kopalnią kolej podziemną na dwóch poziomach kopalni obsługuje łącznie 14 elektrycznych lokomotyw przewodowych typu Ld-21 wyprodukowanych w latach 70-tych i 80-tych.

W rocznym czasie eksploatacji zmodernizowana lokomotywa cechowała się poprawnym funkcjonowaniem. Jediną poważną awarią było mechaniczne uszkodzenie odbieraka prądu (rys. 7). Przyczyną tej awarii było przedostanie się drutu ślizgowego trakcji elektrycznej pod ślizg odbieraka prądu podczas przejazdu lokomotywy przez rozjazd. Drut ślizgowy spowodował wygięcie ślizgu i uszkodzenie odbieraka prądu. Po przekonstruowaniu końcówek ślizgowych odbieraka prądu lokomotywa pracowała poprawnie.



Rys. 7. Uszkodzenie odbieraka prądu [2]

Podczas pracy lokomotywy Ld-31EM nie stwierdzono zadziałania zabezpieczeń stromości narastania prądu w sieci kopalnianej. Uzyskano to za pomocą dodatkowych rezystorów zabudowanych w modułach przekształtnika energoelektronicznego lokomotywy, które umożliwiają wstępne naładowanie kondensatorów. Dodatkowo, wprowadzone sekwencyjne załączanie styczników zasilających moduły przekształtników, spowodowało ograniczenie stromości narastania prądu podczas uruchamiania lokomotywy.

Bardzo użyteczną cechą jest możliwość kształtowania charakterystyki pracy napędu elektrycznego. Odpowiednio zamodelowany przebieg charakterystyki umożliwia łagodny rozruch lokomotywy, a w przypadku wystąpienia zjawiska poślizgu jego ograniczenie. Z pulpitu sterowniczego w płynny sposób można sterować pracą przekształtników zasilających silniki elektryczne. Wartość momentu obrotowego, określająca prędkość jazdy lokomotywy, zadawana jest na podstawie informacji dostarczanych z manipulatora.

Opcjonalnie, istnieje możliwość zabudowania w lokomotywie modułu transmisji danych. Istotną zaletą tego urządzenia jest możliwość komunikacji sterownika lokomotywy z kopalnianą siecią łączności bezprzewodowej. Dotyczy to zarówno komunikacji z operatorem (maszynistą), jak również transmisji danych parametrów pracy lokomotywy.

4. Podsumowanie

W zmodernizowanej wersji lokomotywy uwzględniono doświadczenia eksploatacyjne z pierwszego roku eksploatacji w KWK „Piast”.

W zakresie wyposażenia elektrycznego dokonano następujących zmian:

- zastosowano silniki o mocy dostosowanej do aktualnej masy lokomotywy,
- zmieniono konstrukcję skrzyni zespołu zasilającego oraz skrzyń modułów przekształtnika energoelektronicznego,
- zastosowano odbierak prądu nowej konstrukcji,
- uproszczono układ sterowania,

- wprowadzono czujnik odhamowania awaryjnego,
- zmieniono położenie reflektorów głównych (z płyt czołowych lokomotywy na płyty czołowe kabiny operatora).

Roczny okres eksploatacji zmodernizowanej lokomotywy potwierdził celowość i poprawność wyżej wymienionych zmian.

Lokomotywy Ld-31EM przeznaczone są 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 przepływu powietrza jest nie mniejsza niż 1 m/s.

Główne zalety lokomotywy Ld-31EM to:

- zwarta i modułowa budowa ułatwiająca prace transportowe i manewrowe,
- niezależny, na każdą z dwóch osi napęd z zastosowaniem silników z magnesami trwałymi, pozwalający osiągnąć wysoką sprawność,
- nowoczesny system sterowania uwzględniający ergonomię stanowiska maszynisty,
- możliwość współpracy ze standardowymi jednostkami transportowymi,
- możliwość dostosowania konstrukcji i wyposażenia lokomotywy do wymagań konkretnego odbiorcy.

Literatura

- [1] Budzyński Z.: Innowacyjne rozwiązania układów sterowania i napędów lokomotyw elektrycznych kopalnianych kolei szynowych. *Maszyny Górnicze* 2010 nr 3-4 s. 176-184
- [2] Budzyński Z., Deja P., Polnik B.: Nadzór nad wdrożeniem lokomotywy Ld-31EM w KWK Piast w Bieruniu. ITG KOMAG, Gliwice 2015 (materiały niepublikowane)
- [3] Deja P., Konsek R.: Badania siły uciągu lokomotywy dołowej Ld-31EM w warunkach kopalnianych. *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe* 2015 nr 105 s. 191-194
- [4] Pieczora E., Suffner H.: Rozwój lokomotyw do kopalnianych kolei podziemnych. *Maszyny Górnicze* 2013 nr 2 s. 45-54
- [5] Suffner H., Dobrzaniecki P., Kaczmarczyk K., Deja P., Konsek R.: Określenie danych wejściowych do projektu wstępnego zmodernizowanej lokomotywy Ld-31EM. ITG KOMAG, Gliwice 2014 (materiały niepublikowane)
- [6] Karta katalogowa. Dołowa lokomotywa elektryczna Ld-31EM
- [7] Dokumentacja techniczno-ruchowa (instrukcja obsługi) Silnik trójfazowy synchroniczny z magnesami trwałymi typu PMP 250L. KOMEL 2005
- [8] Dokumentacja techniczno-ruchowa (instrukcja obsługi) Silnik trójfazowy synchroniczny z magnesami trwałymi typu PMP 250L-w. KOMEL 2014