

**Przemysław Deja**  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice

## **MODERNIZACJA LOKOMOTYWY Ld-31EM NA PODSTAWIE DOŚWIADCZEŃ Z JEJ EKSPLOATACJI W KWK „PIAST”**

### **MODERNIZATION OF Ld-31EM LOCOMOTIVE ON THE BASIS OF EXPERIENCE GAINED DURING ITS OPERATION IN KWK "PIAST" COAL MINE**

**Streszczenie:** Lokomotywa dołowa elektryczna 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 jazdy oraz prędkością. Każdy zestaw kołowy napędzany jest niezależnie. Stan pracy lokomotywy jest monitorowany przez nowoczesny pulpit sterowniczy. Kilkuletnia eksploatacja zmodernizowanej lokomotywy Ld-31EM w KWK „Piaś” pozwoliła na zebranie doświadczeń, zarówno przez użytkowników, producenta, jak i konstruktorów. W analizowanym okresie lokomotywa pracowała poprawnie, jednakże użytkownicy wnieśli uwagi związane z podwyższeniem parametrów eksploatacyjnych, jak i komfortu pracy operatora. Uwzględniono je podczas opracowywania kolejnej wersji lokomotywy, szczególnie w zakresie wyposażenia elektrycznego. W artykule przedstawiono wpływ dokonanych zmian na eksploatację lokomotywy. Nowo opracowana lokomotywa, o zmniejszonych gabarytach i zmniejszonej masie własnej, stanowi rozszerzenie typoszeregu lokomotyw Ld-31EM mających docelowo zastąpić lokomotywy typu Ld-31 (Ld-21). Lokomotywy typoszeregu 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.

**Abstract:** Ld-31EM electric underground locomotive is of a single-body design with the operator's cabin situated in the middle part of the machine. Brushless motors with permanent magnets supplied from electronic power converters, which control speed and travel direction are used as the locomotive drives. Each wheel set is driven separately. Operation of the locomotive is controlled from the state-of-the-art control panel. Few years of operation of Ld-31EM locomotive in KWK "Piaś" coal mine enabled gaining experience both by users as well as by manufacturers and designers. In the analyzed period, the locomotive operated properly and the users had some remarks regarding improvement of some operational parameters such as improvement of operator work comfort. The remarks were taken into account in designing the next version of the locomotive especially regarding electric equipment. Impact of design changes on locomotive operation is given. Newly designed locomotive of reduced dimensions and reduced weight is an extension of Ld-31EM locomotive type-series, which will replace locomotives of Ld-31 (Ld-21) types. Locomotives of Ld-31EM type series are designed for transport operations in coal, ore and salt mines undergrounds, which are not threatened by explosion of coal dust and in underground workings with "a" degree of methane explosion hazard and in which rate of air flow is over 1 m/s.

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

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

## **1. Wstęp**

Wynikiem współpracy Instytutu Techniki Górniczej KOMAG oraz firmy Energo-Mechanik Sp. z o.o. ze Strzelec Opolskich jest produkcja i wdrożenie lokomotyw dołowych elektrycznych Ld-31EM. Lokomotywy te są alternatywą dla obecnie eksploatowanych w polskim górnictwie podziemnym lokomotyw Ld-31 (Ld-21), wy-

produkowanych 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 PMPg 250L, o mocy

60kW, zasilanymi z przekształtników energoelektronicznych, za pośrednictwem których odbywa się sterowanie kierunkiem jazdy oraz prędkością. Każdy zestaw kołowy napędzany jest niezależnie, co umożliwia jazdę lokomotywy w przypadku awarii jednego z napędów. Stan pracy lokomotywy jest monitorowany na nowoczesnym pulpicie sterowniczym. Dodatkowo lokomotywa wyposażona jest w czuwak (przycisk na manipulatorze podłączony z układem sterowania). Więcej informacji na temat lokomotywy zamieszczono w [1] i [4].

Kilkuletnia eksploatacja lokomotywy Ld-31EM w Kopalni Węgla Kamiennego „Piaś” (rys.1) pozwoliła na zebranie doświadczeń, zarówno przez użytkowników, producenta, jak i konstruktorów.



Rys. 1. Pierwsza wersja lokomotywy Ld-31EM w KWK „Piaś” [2]

W analizowanym, rocznym okresie eksploatacji, lokomotywa pracowała poprawnie. Użytkownicy wnieśli jednak uwagi związane z podwyższeniem jej parametrów eksploatacyjnych, jak i komfortu pracy operatora. Infrastruktura kopalnianej sieci podziemnej (głównie torowiska) wymagały modernizacji lokomotywy, zwłaszcza zmniejszenia jej gabarytów. Jak wykazały doświadczenia eksploatacyjne, parametry geometryczne lokomotywy nie pozwalały na jej pełne wykorzystanie w infrastrukturze kopalni. Szerokość lokomotywy Ld-31EM nie pozwalała na bezpieczne minięcie się dwóch pojazdów, a jej długość zwiększała skrajnie w trakcie przejazdu przez zakręty.

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



Rys. 2. Druga wersja lokomotywy Ld-31EM w KWK „Piaś” [2]

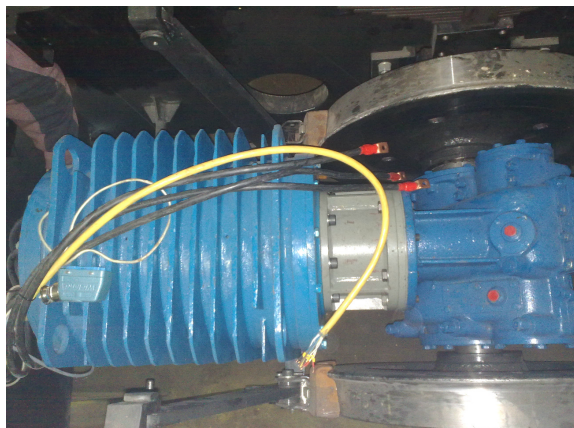
W artykule przedstawiono zmiany jakie wprowadzono w układzie elektrycznym lokomotywy oraz ich wpływ na jej eksploatację.

## 2. Zmiany w układzie elektrycznym lokomotywy

W celu dostosowania gabarytów lokomotywy do infrastruktury sieci trakcyjnej KWK „Piaś”, poza szkieletem i układem hamulcowym w pierwszej kolejności zmieniono układ napędowy oraz konstrukcje skrzyń elektrycznych: zespołu zasilania i modułów przekształtnika energoelektronicznego. Parametry układu napędowego wyznaczono w ramach obliczeń trakcyjnych [5], natomiast parametry zespołów elektrycznych do zabudowy w skrzyniach elektrycznych wyznaczono m. in. w ramach analizy wielkości zmierzonych w trakcie badań lokomotywy Ld-31EM [3].

Wyznaczone momenty obrotowe silnika występowały przy maksymalnej sile pociągowej, a więc w chwili wprawiania składu pociągu w ruch, gdy istniała konieczność pokonania siły tarcia statycznego i innych oporów ruchu. Gdy pociąg znajdował się w ruchu zapotrzebowanie na moment silnika spadało. Dlatego w układzie napędowym (rys.3) zastosowano silnik z magnesami trwałymi dostosowany do zmniejszonej masy lokomotywy typu PMPg 250L-w, o mocy 40kW.

W tabeli 1 przedstawiono parametry znamionowe zastosowanych silników.



Rys. 3. Zestaw napędowy lokomotywy [2]

Tabela 1. Dane znamionowe silników napędowych lokomotywy [7][8]

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 $\eta_N$ [%]	93	93
Masa [kg]	572	545

Zmiana mocy silników umożliwiła zastosowanie innych podzespołów wyposażenia elektrycznego w zespole zasilania i modułów przetwornika 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 poprawi funkcjonalność użytkowania lokomotywy. Dostęp do bezpieczników umożliwi specjalna pokrywa z wizerem (rys.4).



Rys. 4. Wnętrze kabiny lokomotywy [2]

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



Rys. 5. Moduł przetwornika energoelektronicznego [2]

Kolejną zmianą w stosunku do pierwszej wersji lokomotywy jest odbierak prądu (rys.6), urządzenie służące do bezpiecznego przekazywania energii elektrycznej z przewodu trakcyjnego do pojazdu trakcyjnego (lokomotywy). W pierwszej wersji lokomotywy 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 linowego, mechanicznego opuszczania. Wadą był również jego wysoki koszt, co miało bezpośrednie przełożenie na końcową cenę lokomotywy. Firma Energomechanik zdecydowała się na opracowanie odbieraka prądu własnej konstrukcji. Składa się on z następujących elementów:

- korpusu,
- podzespołów konstrukcji ramy wsporczej,
- ślizgaczy,
- pneumatycznego mechanizmu podnoszenia i opuszczania,
- linowego mechanizmu opuszczania,
- napędu sprężynowego,
- przewodu prądowego.



Rys. 6. Odbierak prądu [2]

W porównaniu do pierwszej wersji lokomotywy uproszczono również układ sterowania. Pierwszą wersję lokomotywy wyposażono w osobny koncentrator sygnałów, do którego podłączono część obwodów sterowniczych.



Rys. 7. Pulpit sterowniczy lokomotywy [2]

W drugiej wersji lokomotywy wszystkie czujniki oraz elementy sterownicze podłączono bezpośrednio do pulpitu sterowniczego (rys.7). Takie rozwiązanie pozwoliło na uproszczenie układu sterowania lokomotywy.

Istotną zmianą jest także zmiana lokalizacji położenia reflektorów głównych. W pierwszej wersji lokomotywy reflektory główne zabudo-

wano na płycie czołowej szkieletu lokomotywy (rys.2), co umożliwiała dobre oświetlenie toru jazdy. Jednakże podczas prac transportowych reflektory ulegały częstym uszkodzeniom, np. podczas transportowania długich, żle 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 Atestującą dopuszczono zmianę zabudowy reflektorów.

W tabeli 2 przedstawiono podstawowe parametry lokomotyw Ld-31EM w wykonaniu 1 oraz 2.

Tabela 2. Parametry lokomotyw Ld-31EM [6]

Lokomotywa	Wersja 1	Wersja 2
Siła uciągu na haku [kN]	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]	1400	1200

Po wprowadzonych zmianach i przeprowadzonych badaniach lokomotywy oraz przeglądzie jej dokumentacji Zakład Badań Atestacyjnych ITG KOMAG wydał producentowi Rozszerzenie nr 4 Certyfikatu Badania Typu WE Nr KOMAG/07/MD/ST92 dla lokomotywy Ld-31EM.

### 3. Eksploatacja lokomotywy

Po przekazaniu przez producenta drugiej wersji lokomotywy Ld-31EM na kopalnię, ulokowano ją w zajezdni elektrowozów w pobliżu szybu nr I (rys.2). Zdecydowano, że w pierwszym okresie eksploatacji będzie ona wykorzystana do przemieszczania 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 600mm. Przewód jezdny sieci trakcyjnej jest o przekroju 100mm<sup>2</sup>. Łączność bezprzewodowa prowadzona jest z wykorzystaniem światłowodu. Przewóz szynowy na dwóch poziomach kopalni obsługuje łącznie 14 lokomotyw przewodowych typu Ld-21. Ich średni wiek wynosi 35 lat.

W analizowanym okresie eksploatacji lokomotywa Ld-31EM cechowała się poprawnym funkcjonowaniem. Jedyną poważną awarią było uszkodzenie mechaniczne odbieraka prądu (rys.8). Przyczyną tej awarii było przedostanie się drutu ślizgowego trakcji elektrycznej pod ślizg odbieraka prądu podczas przejazdu lokomotywy przez rozjazdy. Drut ślizgowy spowodował wygięcie ślizgu i uszkodzenie odbieraka prądu. Po przekonstruowaniu końcówek ślizgowych odbieraka prądu lokomotywa pracowała poprawnie.



Rys. 8. Uszkodzenie odbieraka prądu [2]

W analizowanym okresie 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 zaprogramowany przebieg charakterystyki umożliwia łagodny rozruch (start) 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, generowana 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

Eksploatacja pierwszej wersji dołowej lokomotywy elektrycznej Ld-31EM w KWK „Piaś” przebiegała poprawnie. Jednakże użytkownicy wnieśli uwagi związane z podwyższeniem parametrów eksploatacyjnych, jak i komfortu pracy operatora. Uwzględniono je podczas opracowywania drugiej wersji lokomotywy, szczególnie w zakresie wyposażenia elektrycznego.

W porównaniu do pierwszej wersji, w drugiej dokonano następujących zmian w zakresie wyposażenia elektrycznego:

- 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).

W analizowanym okresie eksploatacji lokomotywa Ld-31EM pracowała poprawnie (nastąpiło jedynie uszkodzenie odbieraka prądu).

Lokomotywa Ld-31EM o zmniejszonych gabarytach i zmniejszonej masie własnej stanowi rozszerzenie typoszeregu lokomotyw Ld-31EM mających docelowo zastąpić lokomotywy typu Ld-31 oraz Ld-21.

Lokomotywy z typoszeregu 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.

Do zalet lokomotywy można zaliczyć:

- zwartą i modułową budowę ułatwiającą prace transportowe i manewrowe,

- podwójny układ napędowy wyposażony w silniki z magnesami trwałymi, pozwalający osiągnąć wysoką jej sprawność,
- nowoczesny system sterowania uwzględniający ergonomię stanowiska maszynisty,
- możliwość współpracy ze standardowymi jednostkami transportowymi,
- nowoczesną konstrukcję i wyposażenie lokomotywy, które może być dostosowane do wymagań konkretnego odbiorcy.

## 5. 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.” *Praca statutowa ITG KOMAG 2015 (niepublikowana)*
- [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.” *Praca statutowa ITG KOMAG 2014 (niepublikowana)*
- [6]. Karta katalogowa. Dołowa lokomotywa elektryczna Ld-31EM.
- [7]. Dokumentacja techniczno-ruchowa (instrukcja obsługi). Silnik trójfazowy synchroniczny z magnesami trwałymi typu PMP 250L.
- [8]. Dokumentacja techniczno-ruchowa (instrukcja obsługi). Silnik trójfazowy synchroniczny z magnesami trwałymi typu PMP 250L-w.

### Autor

mgr inż. Przemysław Deja  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG  
ul. Pszczyńska 37  
44-101 Gliwice  
e-mail: pdeja@komag.eu