

Rozwój lokomotyw do kopalnianych kolei podziemnych

Streszczenie

Kopalniana kolej podziemna stanowi podstawowy system transportu maszyn, urządzeń i materiałów, przewozu ludzi oraz transportu (odstawy) skały płonnej w polskich kopalniach węgla kamiennego. Kluczowym elementem struktury kopalnianej kolei podziemnej jest tabor trakcyjny, czyli lokomotywy: z napędem pneumatycznym, elektrycznym i spalinowym. W artykule przedstawiono rozwój lokomotyw, ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań opracowanych w ITG KOMAG. Podano podstawowe dane techniczne wybranych typów lokomotyw stosowanych w polskich kopalniach węgla kamiennego.

Summary

Mine underground railway is the basic system for transportation of machines, equipment, materials, people and waste rock in Polish hard coal mines. Traction rolling stock, i.e. locomotives with pneumatic, electric and diesel drive, is the key component of the structure of mine underground railway. Development of locomotives is presented with special attention paid to the solutions developed at KOMAG Institute. Basic technical data of selected types of locomotives used in Polish hard coal mines are given.

1. Wprowadzenie

W polskich kopalniach węgla kamiennego systemy transportu podziemnego bazują na:

- kopalnianych kolejach podziemnych, stosowanych na głównych drogach transportowych,
- kolejach podwieszonych lub spągowych w transporcie oddziałowym.

Dominujący jeszcze kilka lat temu transport linowymi kolejami podwieszonymi lub spągowymi został zastąpiony urządzeniami z napędem spalinowym, natomiast transport z linią otwartą za pomocą kołowrotów ograniczono do niezbędnego minimum.

Kopalniana kolej podziemna stanowi podstawowy system transportu maszyn, urządzeń i materiałów, przewozu ludzi oraz transportu (odstawy) skały płonnej. Transport urobku wozami został praktycznie w całości zastąpiony odstawą przenośnikami taśmowymi.

W skład urządzeń kopalnianej kolei podziemnej wchodzi [1]:

- urządzenia stałe (tory kolejowe, stacje, dworce itp.),
- tabor trakcyjny (lokomotywy),
- tabor wozowy,
- aparatura, urządzenia mechaniczne, w tym blokady oraz aparatura do sterowania i zarządzania pracą kolei.

Kluczowym elementem struktury kopalnianej kolei podziemnej jest tabor trakcyjny, czyli lokomotywy. Do

ciągnięcia wozów kolei podziemnej stosowane są (były) lokomotywy z napędem:

- pneumatycznym,
- elektrycznym przewodowym (z zewnętrznym źródłem zasilania z trakcji),
- elektrycznym akumulatorowym (z wewnętrznym źródłem zasilania),
- spalinowym.

W polskich kopalniach jeszcze do niedawna stosowano jedenaście wartości szerokości torowisk.

W wyniku restrukturyzacji górnictwa, a zwłaszcza likwidacji kopalń wałbrzyskich, stosujących torowiska o szerokości 400÷500 mm, aktualnie stosowane są torowiska o szerokościach 550, 600, 750 i 900 mm.

2. Lokomotywy z napędem pneumatycznym

Lokomotywy z napędem pneumatycznym po raz pierwszy zastosowano w 1872 r. podczas drażenia tunelu pod przełęczą św. Gottharda w Szwajcarii.

W 1905 r. firma Berliner Maschinenbau VG Vormals L. Schwartzkoff (BMAG) rozpoczęła seryjną produkcję lokomotyw z napędem pneumatycznym dla kopalń zagrożonych wybuchem metanu. Produkowano lokomotywy w wersjach: z dwoma, trzema lub czterema zbiornikami sprężonego powietrza, dla torowisk o szerokości od 530 do 670 mm. Do 1945 r. firma wyprodukowała 472 lokomotywy, z których kilka zakupił koncern Goduli dla kopalni „Morgenroth” w Chebziu (Ruda Śl.) [4, 6].

W 1937 r. produkcję lokomotyw z napędem pneumatycznym dla kopalń metanowych rozpoczęła niemiecka firma Arnold Jung Lokomotivfabrik. Stosowny w początkowych rozwiązaniach wiązarczy napęd zestawów kołowych, zastąpiono łańcuchowym przeniesieniem momentu obrotowego. Tłokowy silnik pneumatyczny napędzał korbodami tylny zestaw kołowy, a napęd na przedni zestaw kołowy przenosił łańcuch Galla z kołami łańcuchowymi, zabudowanymi na osiach zestawów kołowych.

W 1942 roku dwie z wykonanych lokomotyw rozpoczęły pracę w kopalni „Dębieńsko”. Budowa kopalń w Rybnickim Okręgu Węglowym i eksploatacja pokładów metanowych spowodowała powszechne stosowanie w przewozie dołowym lokomotyw z napędem pneumatycznym (rys. 1). W latach 1956÷1987 firma Jung dostarczyła do polskich kopalń 148 lokomotyw z napędem pneumatycznym [6].



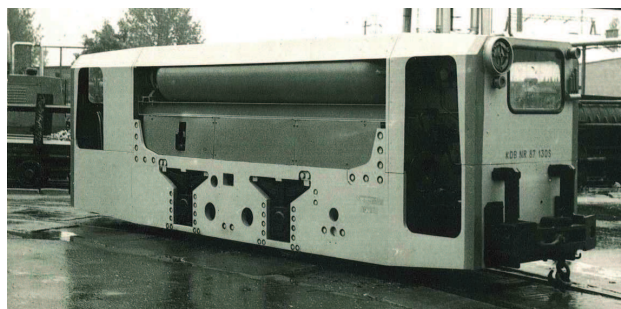
Rys. 1. Lokomotywa z napędem pneumatycznym Jung PZ 45 [14]

Oprócz firmy Jung, lokomotywy z napędem pneumatycznym na polski rynek dostarczała czeskosłowacka firma CKD Praha. Były to lokomotywy typu BVD 40 (rys. 2) pracujące głównie w metanowych kopalniach jastrzębskich i rybnickich. Układ napędowy rozwiązano podobnie jak w lokomotywach typu Jung. Silnik pneumatyczny napędzał łańcuchem przedni zestaw kołowy, który z kolei przekazywał napęd na zestaw tylny, z wykorzystaniem łańcucha Galla.



Rys.2. Lokomotywa z napędem pneumatycznym BVD 40 [15]

Wysokie koszty związane z koniecznością importu części zamiennych skłoniły do podjęcia działań związanych z uruchomieniem produkcji lokomotyw w Polsce. Współpracę w zrealizowaniu takiego projektu podjęło ówczesne CMG KOMAG oraz KWK Krupiński i Chorzowska Wytwórnia Konstrukcji Stalowych (ChWKS) KONSTAL. Efektem zrealizowanych prac była lokomotywa dołowa z napędem pneumatycznym o symbolu Ldp-45 (rys. 3). Niestety, wskutek braku możliwości importu silników pneumatycznych wyprodukowano tylko 10 egzemplarzy tych lokomotyw.



Rys.3. Lokomotywa z napędem pneumatycznym Ldp-45 [12]

W tabeli 1 zestawiono podstawowe parametry techniczne ww. wymienionych typów lokomotyw pneumatycznych.

Podstawowe parametry techniczne wybranych typów lokomotyw z napędem pneumatycznym [12, 14, 15]

Tabela 1

Produkt/typ	Jedn.	Jung PZ 45	BVD 40	Ldp-45	
Maksymalna siła uciążu (na haku)	[kN]	do 33,3	25	24,5	
Maksymalna prędkość jazdy	[m/s]	do 3	do 3,7	do 2,35	
Masa lokomotywy	[kg]	10 500	10 200	12 000	
Moc silnika	kW	36,7	37	33,1	
Długość między zderzakami	[mm]	5480	5220	5600	
Wysokość od główki szyny do końca dachu kabiny	[mm]	1630	1610	1650	
Rozstaw torów	wykonanie standardowe	[mm]	495 do 750	450 do 650	450 do 900
Szerokość lokomotywy	dla torów 450-600	[mm]	1100	950	1100
	dla torów 610-650	[mm]		1100	

Lokomotywy z napędem pneumatycznym były bardzo bezpiecznym rozwiązaniem w aspekcie ich zastosowania w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem. Wymagały jednak lokowania na powierzchni kopalni sprężarek oraz sieci przewodów doprowadzających sprężone powietrze z powierzchni do wyrobisk. Z uwagi na ograniczoną pojemność zbiorników sprężonego powietrza, koniecznym było umiejscowienie, co około 1 km, zaworów umożliwiających napełnienie zbiorników w celu dalszej jazdy lokomotywy (pociągu). Bardzo niska sprawność lokomotyw z napędem pneumatycznym oraz wysokie koszty związane z utrzymaniem stacji oraz sieci sprężonego powietrza spowodowały z czasem całkowite wyeliminowanie tego typu transportu.

3. Lokomotywy z napędem elektrycznym

Lokomotywę zasilaną z trakcji elektrycznej w przewoźnictwie dołowym po raz pierwszy zastosowano w kopalni węgla Zanckerode k. Drezna. Na Śląsku pierwszą tego typu lokomotywę zastosowano w 1883 r. w kopalni Hohenzollern (Szombierki). Do napędu tych lokomotyw zastosowano silnik elektryczny prądu stałego o mocy około 7,5 kW.

W 1913 r. w śląskich kopalniach eksploatowanych było 37 lokomotyw. W okresie I wojny światowej liczba ta wzrosła do 200. Moc silników elektrycznych wynosiła początkowo 22 kW, a następnie 32 kW. W 1938 r. lokomotywy z napędem elektrycznym stanowiły 78% wszystkich eksploatowanych. Były to lokomotywy firm niemieckich i angielskich, takich jak: AEG, Klemm Dressler, SSW, Geenbat, Westinghouse, Metro-Vikers. [4, 5]

W pierwszej połowie XX wieku do zasilania silników lokomotyw i urządzeń trakcyjnych stosowano w polskich kopalniach wiele różnych wartości napięć. Przykładowo w kopalni Szombierki stosowano napięcie 350 V, w kopalni Wirek 450 V, a w kopalni Paryż 600 V. Najwięcej eksploatowanych lokomotyw było zasilanych napięciem stałym o wartości 220 V. Na początku lat pięćdziesiątych XX w. ujednoczono system zasilania, przyjmując dla trakcji dołowej napięcie o wartości 250 V. Podjęto również decyzję o opracowaniu i uruchomieniu produkcji przez ChWKS KONSTAL krajowych rozwiązań lokomotyw dołowych.

W lokomotywach instalowano dwa silniki szeregowe prądu stałego o mocach 17 kW, 23 kW oraz 41,5 kW. W następnych latach rozwiązania lokomotyw ciągle doskonalono powiększając ich typoszereg. Największą popularność zyskały lokomotywy typu Ld-21 (rys. 4) i Ld-31 (rys. 5). Rozruch oraz regulację prędkości lokomotyw z silnikami typu szeregowego uzyskiwano przez zmianę rezystancji włączanej w obwód silników. Dla regulacji momentu rozruchowego lokomotywy i nadania pociągowi odpowiedniego przyspieszenia zmieniono układ połączeń silników z szeregowego na równoległy.

Rozwój elementów półprzewodnikowych sprawił, że w latach 60-tych XX wieku rozpoczęto prace konstrukcyjne nad lokomotywami z tyrystorowym układem sterowania silnikami trakcyjnymi.

Do rozwoju tego sterowania w lokomotywach dołowych przyczyniła się firma ELSTA w Wieliczce, która opracowała i wdrożyła układ TUSDELK (tyrystorowy układ sterowania elektrycznej lokomotywy kopalnianej), umożliwiający modernizację tradycyjnego układu napędowego lokomotyw z napędem elektrycznym. Układ ten, oprócz bezstopniowego rozruchu i płynnej regulacji prędkości lokomotyw, stworzył możliwość hamowania elektrycznego.



Rys.4. Lokomotywa dołowa z napędem elektrycznym Ld-21 [5]



Rys.5. Lokomotywa dołowa z napędem elektrycznym Ld-31 [7]

Zaistniałe wypadki porażenia prądem od urządzeń trakcyjnych zasilanych napięciem stałym były powodem podjęcia prób wdrożenia do zasilania lokomotyw dołowych prądu przemiennego. Głównym celem było wprowadzenie wyłączników ochrony przeciwporażeniowej w trakcji dołowej. Pomimo dużego zaangażowania w prace badawcze nie osiągnięto spodziewanych efektów, głównie z uwagi na zwiększone spadki napięcia w sieci trakcyjnej.

Z początkiem lat 90-tych XX wieku ChWKS KONSTAL zakończyła produkcję lokomotyw dla górnictwa. Wiele z lokomotyw jest nadal eksploatowanych w kopalniach, mimo że żywotność niektórych egzemplarzy przekroczyła 50 lat.

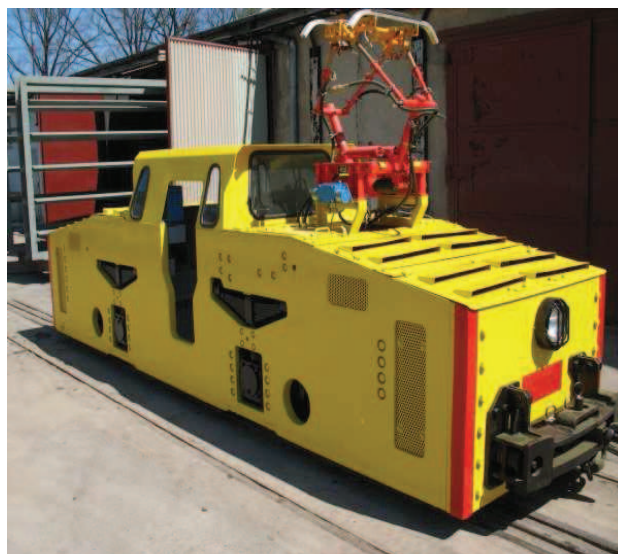
Rozwój w ostatnim dziesięcioleciu nowoczesnych komponentów elektrycznych i elektronicznych, umożliwiających ich bezpieczne stosowanie w podziemnych wyrobiskach górniczych, przyczynił się do podjęcia prac badawczo-rozwojowych w zakresie innowacyjnych rozwiązań układów napędu i sterowania górniczych urządzeń transportowych.

W wyniku zrealizowanego w latach 2004÷2005 przez KOMAG i firmę ENERGO-MECHANIK Sp. z o.o., przy współudziale firmy ENEL Sp. z o.o. i ZUE ELSTA oraz współpracy z Branżowym Ośrodkiem Badawczo-Rozwojowym Maszyn Elektrycznych KOMEL, dofinansowanego przez NOT, projektu celowego, pt. „Nowoczesny układ napędowy do pojazdów szynowych”, opracowano innowacyjny napęd. Jego główne elementy stanowią: bezszczotkowy silnik z magnesami trwałymi typu PMPg250L o mocy 60 kW oraz tranzystorowy przekształtnik energoelektroniczny (tzw. elektroniczny komutator) do sterowania kierunkiem i prędkością wirowania silnika oraz procesem hamowania. Opracowano również układ lokalnego i radiowego sterowania pojazdem szynowym. Dzięki zastosowaniu wysokoenergetycznych magnesów trwałych i optymalizacji obwodu elektrycznego, wymieniony silnik cechuje wysoka sprawność (przewyższająca sprawność silników prądu stałego i indukcyjnych porównywalnych mocy) oraz duża przeciążalność mechaniczna. Silnik pozbawiony jest komutatora mechanicznego, dzięki czemu uzyskano zwiększenie trwałości i niezawodności lokomotywy, skrócono czasy postojów, obniżono koszty remontu i przeglądów, a tym samym znacznie obniżono koszty eksploatacyjne. W oparciu o wyniki ww. projektu opracowano rozwiązanie nowoczesnej lokomotywy dołowej typu Ld - 31EM (rys. 6) zasilanej z trakcji elektrycznej, której producentem jest firma ENERGO-MECHANIK Sp. z o.o. W lokomotywie zastosowano autorskie rozwiązanie luzowanego pneumatycznie hamulca awaryjno-postojowego, współpracującego z układem kontroli „sprawności” maszynisty. Zastosowano także (zgodnie z obowiązującymi przepisami) elektropneumatyczne podnoszenie i opuszczanie pantografu.

Lokomotywa ta przeznaczona jest do eksploatacji w podziemnych wyrobiskach kopalń węgla, rud i soli, nie zagrożonych wybuchem pyłu węglowego oraz w wyrobiskach podziemnych ze stopniem „a” niebezpieczeństwa wybuchu metanu, w których prędkość powietrza jest nie mniejsza niż 1 m/s.

W dalszych pracach, dzięki zaangażowaniu firmy SOMAR S.A., opracowano nowoczesny układ sterowania lokomotywy, z pulpitem operatorskim, składającym się z: wyświetlacza ciekłokrystalicznego, łączników i przycisków sterowniczych oraz sterownika mikroprocesorowego współpracującego ze sterownikami falowników i koncentratorami sygnałów.

Wprowadzono także wektorowe (w czterech ćwiartkach) sterowanie obrotami silnika.



Rys.6. Lokomotywa dołowa z napędem elektrycznym Ld-31EM [10]

Wybrane parametry techniczne wymienionych typów lokomotyw z napędem elektrycznym podano w tabeli 2.

Oprócz lokomotyw z napędem elektrycznym, zasilanych z sieci trakcyjnej, opracowano i wdrożono lokomotywy zasilane z baterii akumulatorowych, głównie w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem. Pierwsze lokomotywy zasilane z akumulatorów pojawiły się na Śląsku już na początku XX wieku. Składały się one z ciągnika i tendera zawierającego baterię akumulatorów kwasowych. Moc tych lokomotyw wynosiła od 8 do 20 kW, a maksymalna prędkość 2 m/s [4].

Powszechnie stosowaną w kopalniach lokomotywą jest znany Karlik - produkowana przez ChWKS KONSTAL lokomotywa typu Ldag-05 (rys. 7). Jest to lokomotywa jednostanowiskowa, napędzana dwoma silnikami prądu stałego o mocy 11 kW każdy. Drugą powszechnie stosowaną lokomotywą zasilaną z baterii akumulatorowej produkcji ChWKS KONSTAL jest lokomotywa typ Lea BM-12 (rys. 8), napędzana jednym silnikiem prądu stałego mocy 38 kW. Obydwie lokomotywy zostały opracowane jako konstrukcje przeciwwybuchowe, umożliwiające ich bezpieczną eksploatację w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem. W lokomotywach zastosowano kwasowe baterie akumulatorów umieszczone w tzw. obudowie wzmocnionej. Stosowanie lokomotyw zasilanych z akumulatorów wymaga przygotowania przez użytkowników infrastruktury, w postaci odpowiednio przewietrzanych komór ładowania baterii, wyposażonych w specjalne urządzenia (stoły) do ładowania baterii.

Podstawowe parametry wybranych typów lokomotyw z napędem elektrycznym [11]

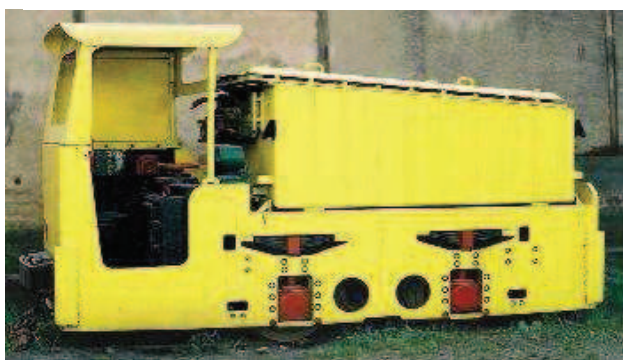
Tabela 2

Typ lokomotywy/producent	Jedn.	Ld-21	Ld-31	Ld-31EM
Maksymalna siła uciągu (na haku)	[kN]	26	35	8
Maksymalna prędkość jazdy	[m/s]	2,3	2,3	6
Masa lokomotywy - dla torów 600-750 mm	[kg]	10 000	-	12 000
Masa lokomotywy - dla torów 900 mm		-	14 000	14 000
Moc silnika	kW	62		2x60
Typ silnika		prąd stały	prąd stały	magnesy trwałe
Długość między zderzakami	[mm]	5050	5750	5800
Wysokość od główki szyny do końca dachu kabiny	[mm]	1650	1600	1700
Rozstaw torów wykonanie standardowe	[mm]	550 do 700	750 do 900	600 do 900
Szerokość lokomotywy - dla torów 600-750	[mm]	1050	1200	1100
Szerokość lokomotywy - dla torów 900	[mm]	-	1350	1350

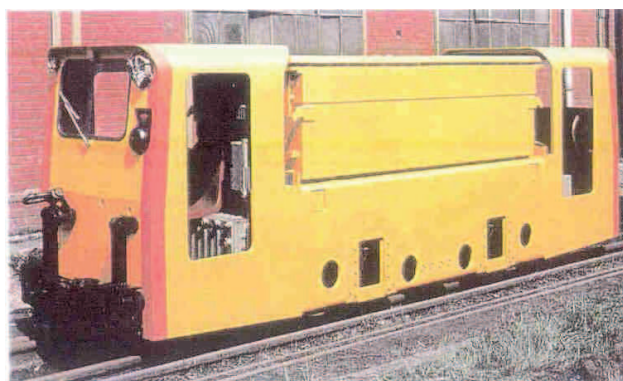
Podstawowe parametry techniczne wybranych typów lokomotyw zasilanych z baterii akumulatorów [4, 13]

Tabela 3

Typ lokomotywy / producent	Jedn.	Ldag-05	Lea BM-12	Lda-12K-EMA
Maksymalna siła uciągu (na haku)	[kN]	7	16,8	24
Maksymalna prędkość jazdy	[m/s]	2	4	5
Masa lokomotywy - dla torów 600-750 mm	[kg]	5000	12 000	13 000
Masa lokomotywy - dla torów 900 mm		-	12 000	14 000
Moc silnika	kW	2x12,5	1x38	2x18
Typ silnika		prąd stały	prąd stały	magnesy trwałe
Długość między zderzakami	[mm]	3050	5650	5950
Wysokość od główki szyny do końca dachu kabiny	[mm]	1600	1650	1725
Rozstaw torów - wykonanie standardowe	[mm]	600 do 650	600 do 950	550 do 900
Szerokość lokomotywy - dla torów 600-750 mm	[mm]	850	1050	1100
Szerokość lokomotywy - dla torów 900	[mm]	-	1100	1250



Rys.7. Lokomotywa z napędem akumulatorowym Ldag-05 [2]



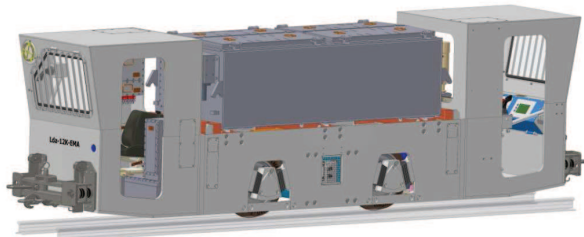
Rys.8. Lokomotywa z napędem akumulatorowym Lea BM-12 [7]

Do modernizacji układu sterowania lokomotyw Lea BM-12 przyczynili się specjaliści Centrum EMAG, opracowując w latach 90-tych XX w. energoelektroniczne wyposażenie TUSO/M, które uzyskało dopuszczenie WUG do stosowania w wyrobiskach o stopniu „a”, „b” i „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu. W 2005 r., w związku z wejściem wymagań unijnych opracowano nowe obudowy ognioszczelne dla ww. wyposażenia, oznaczając je symbolem TURO-A. Opracowane wyposażenie energoelektroniczne do sterowania napędem lokomotyw składa się z następujących podzespołów umieszczonych w obudowach ognioszczelnych [7]:

- łącznik ognioszczelny – TUSO – 21M (TURO – 31),
- nawrotnik ognioszczelny – TUSO – 22/M (TURO – 32),
- dwa nastawniki ognioszczelne – ON – 2/M (TURO – 34A).

Uwzględniając zapotrzebowanie kopalń na nowoczesne rozwiązanie lokomotywy z napędem akumulatorowym, ITG KOMAG wspólnie z firmą ENERGO-MECHANIK Sp. z o.o. podjęli się realizacji, dofinansowanego przez NOT, projektu celowego pt. „Lokomotywa z napędem akumulatorowym przeznaczona do eksploatacji w atmosferze potencjalnie

wybuchowej”. Opracowana w ramach projektu lokomotywa, o symbolu Lda-12K-EMA (rys. 9) posiada dwa niezależne zespoły napędowe, współpracujące ze sobą w czasie jazdy i hamowania. W skład każdego zespołu napędowego wchodzi przeciwwybuchowy silnik synchroniczny z magnesami trwałymi o mocy 18 kW, zasilany poprzez przekształtnik energoelektroniczny (falownik) z baterii akumulatorów kwasowo-ołowiowych specjalnej konstrukcji, o napięciu 144 V i pojemności 1000 Ah. Falownik wraz z aparaturą zasilającą i sterowniczą oraz zabezpieczeniami umieszczono w module zasilania. Moduł baterii składa się z dwóch komór: ognioszczelnej, w której znajduje się aparatura sterownicza, zasilająca oraz zabezpieczenia i drugiej o budowie wzmocnionej, w której znajdują się ogniwa baterii. Połączenie elektryczne modułu baterii z modulem zasilania zrealizowano za pośrednictwem przeciwwybuchowych złączy wtykowych. Sterowanie lokomotywą odbywa się z mikroprocesorowych pulpityw znajdujących się w obu kabinach i manipulatora do sterowania prędkością i hamowaniem lokomotwy.



Rys.9. Model lokomotwy Lda-12K-EMA [13]

4. Lokomotywy z napędem spalinowym

Pierwsze lokomotywy z silnikami cieplnymi zastosowano w transporcie dołowym w Wielkiej Brytanii, w pierwszej połowie XIX wieku. Lokomotywy te, posiadające zwykłe palenisko węglowe, ze względu na duże ilości wydzielanej pary i dymu nie dawały zadawalających rezultatów. Rozwijający się przemysł pojazdów samochodowych z silnikami benzynowymi umożliwił zastosowanie tych silników w lokomotywach kopalnianych. Zasadniczą wadą tych lokomotyw było jednak wydzielanie się toksycznych spalin do atmosfery kopalnianej oraz zagrożenie wybuchem benzyny, co zdecydowało o zaprzestaniu prac nad tego typu rozwiązaniem w górnictwie. Przełomem w rozwoju górniczych napędów spalinowych było skonstruowanie w 1897 r. wysokoprężnego silnika z zapłonem samoczynnym (silnika Diesla), w którym następuje spalanie całkowite. Opracowanie układu wylotu spalin z tzw. płuczką wodną umożliwiło uruchomienie w Wielkiej Brytanii pierwszych lokomotyw dołowych z silnikiem Diesla o mocy 22 kW. W kolejnych latach nastąpił dynamiczny rozwój tego typu lokomotyw przede wszystkim w Wielkiej Brytanii (firmy HUNSLET i PLYMOUTH), w Niemczech (firmy BEDIA, DIEMA, RUHRTHALER) i byłej Czechosłowacji (ZTS MARTENS) [8].

Prace nad opracowaniem i wdrożeniem do produkcji i stosowania dołowych lokomotyw z napędem spalinowym w Polsce rozpoczęto od opracowania w 1970 r. przez GIG-KD BARBARA pracy pt. „Analiza możliwości stosowania lokomotyw spalinowych w kopalniach gazowych ze szczególnym uwzględnieniem kopalń ROW”. W efekcie jej pozytywnych wyników, w KOMAG-u, opracowano rozwiązanie lokomotwy dołowej o symbolu Lds -70, bazującej na silniku typu S 44G przystosowanym do pracy w warunkach dołowych o zagrożeniu metanowym produkowanej przez Zakłady Mechaniczne URSUS. Prototyp tej lokomotwy wykonały Rybnickie Zakłady Naprawcze Przemysłu Węglowego, zaś przeprowadzone w KWK „1-Maja” próby potwierdziły jej pełną przydatność oraz wyższość techniczną nad stosowanymi dotychczas lokomotywami z napędem pneumatycznym i elektrycznym zasilanych z baterii akumulatorowych. Próby zostały poprzedzone badaniami atestacyjnymi, które wykazały poprawność konstrukcji lokomotwy, jak również prawidłowość działania układów zabezpieczających. Z uwagi na zaniechanie produkcji silników wysokoprężnych typu S 44G, lokomotywa dołowa spalinowa Lds -70 nie weszła do produkcji seryjnej. W związku z tym podjęto prace nad opracowaniem nowego rozwiązania lokomotwy oznaczonej symbolem Lds-100, w której zastosowano produkowany przez WSW ANDORIA w Andrychowie zespół napędowy ZN-400/25 z silnikiem wysokoprężnym SW-400/L1 o mocy 85 kW. Silnik ten nie spełniał jednak wymagań dotyczących ograniczenia toksyczności spalin oraz temperatury na wylocie do atmosfery kopalnianej i dlatego, każdorazowo przed pierwszym zamontowaniem w lokomotywie, a następnie okresowo, w czasie eksploatacji musiał być poddawany odpowiedniej regulacji pompy wtryskowej w specjalistycznym laboratorium Politechniki Wrocławskiej, a później Politechniki Śląskiej. Regulacja ta powodowała jednak obniżenie mocy silnika około 30%. Silnik wyposażono w specjalny kolektor chłodzony wodą, gdzie następowało wstępne schładzanie spalin – końcowe ich schłodzenie następowało w płuczce wodnej.

W latach 1976÷1978 ChWKS KONSTAL wyprodukowała serię próbną - 5 egzemplarzy lokomotyw Lds-100, które wdrożono do eksploatacji w KWK „1-Maja”. Mimo dużego zapotrzebowania na te lokomotywy ze strony kopalń, ze względu na brak kooperantów w zakresie produkcji przekładni zębatych, KONSTAL zaniechał ich dalszej produkcji [8].

W 1982 r. uruchomiono produkcję lokomotyw Lds-100 w Zakładach Mechanicznych ZAMET w Rudzie Śląskiej Lokomotywy po badaniach przeprowadzonych przez Zakład Atestacji GIG i KD BARBARA, dopuszczono przez WUG do stałej eksploatacji w podziemiach kopalń węgla, rud, soli i innych minerałów w pomieszczeniach „a”, „b” i „c” niebezpieczeństwa wybuchu. Zakład ten produkował i remontował lokomotywy

praktycznie do końca lat 80-tych ubiegłego wieku. Restrukturyzacja przemysłu węglowego, objawiająca się między innymi ograniczeniem liczby eksploatowanych ścian, doprowadziła do pojawienia się na rynku znacznej liczby maszyn górniczych, w tym lokomotyw typu Lds-100, które stanowiły dla pracujących kopalń źródło części zamiennych. Sytuacja ta doprowadziła w konsekwencji do zaniku produkcji lokomotyw z napędem spalinowym, jak również ich części, co pośrednio doprowadziło do upadku producenta.

Dopiero po roku 2000 pojawiło się zapotrzebowanie na nowe części zamienne, a później na lokomotywy. Remontów oraz produkcji części zamiennych do lokomotyw z napędem spalinowym w oparciu o dokumentację KOMAG-u, podjęła się firma HELLEFEIER Sp. z o.o.

Uruchomieniem produkcji nowych lokomotyw zainteresowała się również firma ENERGO-MECHANIK Sp z o.o. ze Strzelec Opolskich, z którą w 2006 roku podpisano umowę dotyczącą komercjalizacji opracowanego przez KOMAG rozwiązania lokomotywy dołowej z napędem spalinowym typu Lds-100K-EM (rys. 10) dla zakładów górniczych rud miedzi. W lokomotywie zastosowano wysokoprężny silnik turbodoładowany firmy Cummins o mocy 90 kW i mechaniczne przeniesienie napędu z przekładnią hydrokinetyczną. Sterowanie obrotami silnika, hamowanie, sterowanie kierunkiem jazdy oraz załączanie piasecznic zrealizowano na drodze hydraulicznej, natomiast rozruch silnika realizowany jest na drodze elektrycznej. Lokomotywę wyposażono w układ kontroli „sprawności” działania maszynisty (czuwak), który współpracuje z hamulcem awaryjnopostojowym. Lokomotywę poddano ocenie zgodności, uzyskując Certyfikat Badania Typu WE nr KOMAG/06/MD/ST/52.



Rys.10. Lokomotywa z napędem spalinowym Lds-100K-EM [10]

Doświadczenia nabyte przez specjalistów KOMAG-u przy wdrażaniu lokomotywy typu Lds-100K-EM

w zakładach górniczych KGHM Polska Miedź S.A. wykorzystano przy opracowywaniu konstrukcji lokomotywy przeznaczonej do stosowania w kopalniach węgla kamiennego. W przeciwieństwie do lokomotywy typu Lds-100K-EM, lokomotywy dla kopalń węgla kamiennego musiały jednak spełniać wymagania Dyrektywy ATEX. W lokomotywie o symbolu Lds-100K-EMA (rys. 11) zastosowano wysokoprężny, niskotokowy silnik firmy Deutz o mocy 80 kW oraz układ mechanicznego przeniesienia napędu na koła z przekładnią hydrokinetyczną. W celu spełnienia wymogów Dyrektywy ATEX opracowano ognioszczelny układ dolotowo-wylotowy z mokrą płuczką spalin, zabezpieczony na dolocie powietrza i wylocie spalin przerywaczami płomieni. Układ ten poddano specjalistycznym badaniom w KD Barbara, otrzymując certyfikat nr KDB 06ATEX084.



Rys.11. Lokomotywa z napędem spalinowym Lds-100K-EMA [10]

W układzie sterowania wykorzystano system sterowania i nadzoru firmy ELSTA Sp. z o.o., współpracujący z zespołem rozdzielaczy elektrohydraulicznych. Układ kontroluje poprawność pracy napędu spalinowego pod kątem przekroczenia krytycznych wartości parametrów, decydujących o bezpieczeństwie pracy, jak również „sprawność” działania operatora (maszynisty).

Zastosowano, z powodzeniem, technikę elektrohydraulicznego, proporcjonalnego sterowania obrotami silnika spalinowego (prędkością jazdy). Rozwiązanie to ciągle doskonalono, zaś w wyniku uwag użytkowników o potrzebie dostosowania gabarytów lokomotywy Lds-100K-EMA do istniejących wyrobisk, przy zachowaniu wymaganej skrajni lub też do wymiarów klatek szybowych, wprowadzono odmiany lokomotywy Lds-100K-EMA przedstawione w tabeli 4. Również na życzenie użytkowników podjęto prace nad wyposażeniem lokomotywy w silnik o większej mocy, co zaowocowało wprowadzeniem do konstrukcji lokomotywy silnika firmy Deutz o mocy 102 kW.

Typoszereg lokomotyw Lds-100K-EMA [10]

Tabela 4

Lp.	Długość całk. [mm]	Wysokość od główki szyny [mm]	Długość kabiny [mm]	Szerokość [mm]	Masa [kg]	Max siła pociągowa [kN]
1.	6000	1600	1105	1100 dla toru do 750 mm 1138 dla 785 mm 1250 dla 900 mm	do 12000	38
2.		1600	1085		do 15000	42
3.		1650	1105		do 12000	38
4.		1650	1085		do 15000	42
5.	6250	1600	1210		do 12000	38
6.		1600	1210		do 15000	42
7.		1650	1210		do 12000	38
8.		1650	1210		do 15000	42

W 2012 r. wprowadzono na rynek nowe rozwiązanie lokomotywy Lds-100K-EMA, z hydrauliczną transmisją momentu obrotowego z silnika spalinowego na koła jezdne. Do napędu lokomotywy wykorzystano silnik firmy Deutz o mocy 102 kW, a hydrauliczne przeniesienie napędu oparto o dwie, niezależne jednostki napędowe. Każdą jednostkę napędową tworzą: pompa, silnik hydrauliczny, przekładnia i zestaw kołowy. Lokomotywę poddano ocenie zgodności uzyskując Certyfikat Badania Typu WE nr KOMAG/06/MD/ATEX/ST/127.

Innym, krajowym rozwiązaniem jest lokomotywa dołowa PIOMA LDS-80 (rys. 12), która powstała w wyniku współpracy KOMAG-u z FMG PIOMA S.A. Jest to lokomotywa trójbrytowa, z hydrauliczną transmisją momentu z silnika spalinowego na koła jezdne. W lokomotywie zastosowano innowacyjne rozwiązanie odrębnych hydrauliczno-mechanicznych napędów związanych z prawą i lewą szyną. Zasilanie napędów z jednego układu hydraulicznego sprawia, że prędkość kół po jednej (lewej) i drugiej (prawej) stronie lokomotywy może być zróżnicowana, co umożliwia dostosowanie prędkości kół jezdnych do promieni szyn na zakrętach, eliminując poślizgi kół i zwiększając efektywność generowania siły pociągowej. Przekładnie zespołów napędowych posiadają zabudowane hamulce wielopłytkowe, pełniące rolę hamulca awaryjnego i postojowego. Przy masie własnej 16 ton lokomotywa skutecznie transportuje masy o wartości 200 ton i jest zdolna pokonać zakręty o promieniach do 4 m. Konstrukcja lokomotywy pozwala na jej bezpieczną eksploatację w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem.

Krajowym rozwiązaniem jest także górnicza lokomotywa spalinowa typu UIK-GLS150-A (rys. 13) opracowana i wdrożona do produkcji przez firmę Urzą-

dzenia i Konstrukcje w Żorach. Lokomotywa posiada konstrukcję jednobrytową, w której zabudowano sześciocylindrowy rzędowy silnik wysokoprężny John Deere 6068 TFM75 z elektroniczną pompą wtryskową. Układ wylotowy spalin wyposażono w tzw. „suchą płuczkę spalin”, czyli wymiennik ciepła z oddzielnym układem chłodzenia. Transmisja momentu obrotowego z silnika spalinowego na koła jezdne odbywa się poprzez układ hydrauliczny, którego głównymi elementami są: pompa hydrauliczna oraz dwa niezależne silniki hydrauliczne firmy BOSCH REXROTH. Lokomotywę wyposażono także w elektrycznie – hydrauliczny układ mający na celu wyrównanie prędkości obrotowych osi napędowych. Rozwiązanie lokomotywy spełnia wymagania dyrektyw 2006/42/WE i 94/9/WE [16].



Rys.12. Lokomotywa z napędem spalinowym PIOMA LDS-80 [3]

W polskich kopalniach węgla kamiennego stosowane są również lokomotywy spalinowe produkcji czeskiej (firmy FERRIT) oraz słowackiej (firmy STAVUS).

W tabeli 5 zestawiono podstawowe parametry techniczne przedstawionych wyżej lokomotyw spalinowych.

Parametry techniczne wybranych typów lokomotyw z napędem spalinowym [3, 10, 16 ÷18]

Tabela 5

Typ/producent	Jedn.	Lds-100 K-EMA	PIOMA LDS-80	UiK- GLS150-A	DLP140 Ferrit	DH 70 D.3-2 Strojarnie
Maksymalna siła uciągu (na haku)	[kN]	42	34	45	40	30
Maksymalna prędkość jazdy	[m/s]	5	4,8	5	4	5
Masa lokomotywy	[kg]	do 15 000	16 000	do 15 500	15 000	do 12 000
Moc silnika	kW	102	81	150	93	93
Długość między zderzakami	[mm]	6000 lub 6250	7320	6000 lub 6200	5800 lub 6000	5200 lub 5500
Wysokość od główki szyny do końca dachu kabiny	[mm]	1600 lub 1650	1650	1600 lub 1650	1600	1600
Rozstaw torów - wykonanie standardowe	[mm]	600 do 900	650 do 900	550 do 900	550 do 900	580 do 900
Szerokość lokomotywy - dla torów 600-750 mm	[mm]	1100	1100	1150	1150	1000
- dla torów 900 mm	[mm]	1150	1100	1350	1350	1300



Rys.13. Lokomotywa z napędem spalinowym UiK-GLS150-A [16]

5. Kierunki prac badawczo – rozwojowych

Wprowadzenie napędów spalinowych do lokomotyw spowodowało z jednej strony zwiększenie efektywności podziemnych systemów transportowych, z drugiej jednak wpłynęło na pogorszenie komfortu pracy załóg górniczych. Należy mieć na uwadze fakt, że napędy spalinowe są źródłem emisji toksycznych spalin i ciepła do otaczającej atmosfery, jak również hałasu. Z tego względu w najbliższych latach w ramach prac badawczych będzie się dążyć do ograniczenia emisji czynników szkodliwych dla zdrowia ludzi. Podejmowane będą następujące prace badawcze mające na celu:

- zwiększenie wydatku mocy silnika przy ograniczonym zużyciu paliwa,
- zmniejszenie emisji szkodliwych składników spalin do otaczającej atmosfery kopalnianej,
- zmniejszenie emisji ciepła i hałasu generowanych przez spalinowe jednostki napędowe,

- optymalizację oprzyrządowania silników pod kątem zmniejszenia zużycia energii oraz kosztów wytwarzania,
- opracowanie napędów elektrycznych z nową generacją akumulatorów i silników elektrycznych.

Również coraz szersze stosowanie technik mikroprocesorowych, pozwoli na automatyzację systemu transportu w górnictwie w najbliższych latach.

6. Podsumowanie

Kopalniana kolej podziemna stanowi podstawowy system transportu maszyn, urządzeń i materiałów, przewozu ludzi oraz transportu (odstawy) skały płonnej w polskich kopalniach węgla kamiennego. Kluczowym elementem struktury kopalnianej kolei podziemnej są lokomotywy z napędem: pneumatycznym, elektrycznym i spalinowym. Lokomotywy z napędem pneumatycznym, aczkolwiek bardzo bezpieczne w aspekcie ich zastosowania w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem, nie są już stosowane w polskich kopalniach

ze względu na ich bardzo niską sprawność oraz wysokie koszty eksploatacji. Szerokie zastosowanie znalazły lokomotywy elektryczne, zarówno zasilane z trakcji, jak i baterii akumulatorów. Pojawienie się na rynku nowoczesnych komponentów elektrycznych i elektronicznych, umożliwiających ich bezpieczne stosowanie w podziemnych wyrobiskach górniczych, stały się podstawą podjęcia prac badawczo-rozwojowych innowacyjnych rozwiązań tych lokomotyw. W ostatnim dziesięcioleciu w kopalniach znalazły zastosowanie nowe rozwiązania lokomotyw z napędem spalinowym. Do rozwoju konstrukcji lokomotyw dołowych znacząco przyczynili się specjaliści KOMAG-u opracowując rozwiązania lokomotyw: Ldp-45 (z napędem pneumatycznym), Lds-100K-EMA i PIOMA LDS-80 (z napędem spalinowym) oraz lokomotyw z napędem elektrycznym Ld-31EM i Lda-12K-EMA. Wszystkie wymienione typy lokomotyw zostały wdrożone do produkcji.

Mając na uwadze, związane z emisją spalin, ciepła i hałasu, ograniczenia stosowania lokomotyw spalinowych (nie umniejszając wielu ich zaletom) można prognozować w najbliższych latach rozwój lokomotyw z napędem elektrycznym. Przewiduje się ukierunkowanie prac badawczych na opracowanie napędów elektrycznych z nową generacją akumulatorów i silników elektrycznych oraz mikroprocesorowych układów sterowania.

Literatura

1. Antoniak J.: Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach. Wydawnictwo Śląsk 1990.
2. Budzyński Z., Polnik B., Gąsior T.: Analiza porównawcza zastosowania napędu synchronicznego i asynchronicznego w górniczych lokomotywach akumulatorowych. *Maszyny Górnicze* 2011, nr 4 (128).
3. Drwięga A., Pieczora E., Suffner H.: Tendencje rozwoju górniczych urządzeń transportowych z napędem spalinowym. [w:] *Materiały konferencyjne: XX Szkoła Eksploatacji Podziemnej* 2011, Kraków, 21-25 lutego 2011.
4. Gierlotka S.: Lokomotywy dołowe i ich rozwój. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2005, nr 10.
5. Gierlotka S.: Napęd elektryczny lokomotyw dołowych i jego rozwój w kopalniach. *Zeszyty problemowe – Maszyny Elektryczne* nr 75/2006. Wyd. BOBRME KOMEL.
6. Gierlotka S.: Lokomotywy pneumatyczne w górnictwie. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*. 2013, nr 4(224)/201.
7. Kozłowski A., Hefczyc M.: Ognioszczelny nastawnik ONT-1 jako nowe wyposażenie lokomotyw akumulatorowych Ldag-05/Ldag-05M. [w:] *Materiały konferencyjne: V Szkoła Mechanizacji i Automatyzacji Górnictwa*, Ustroń, 24 – 26 marzec 2010 r.
8. Pieczora E.: Prace prowadzone przez CMG KOMAG w zakresie dołowych i powierzchniowych wąskotorowych lokomotyw spalinowych. [w:] *Symposium: Dołowe i powierzchniowe wąskotorowe lokomotywy spalinowe w kopalniach PW*. CMG KOMAG, Gliwice 1990.
9. Pieczora E.: Prognoza rozwoju szynowych systemów transportowych stosowanych w podziemnych kopalniach węgla kamiennego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 2008 nr 1/2. Wyd. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.
10. Pieczora E., Michalak D., Tokarczyk J., Suffner H., Budzyński Z.: Poprawa bezpieczeństwa funkcjonowania kopalnianej kolei podziemnej efektem współpracy ITG KOMAG i firmy Energo-Mechanik Sp z o.o. [w:] *Materiały konferencyjne: XXII Szkoła Eksploatacji Podziemnej* 2013, Kraków, 18-22 lutego 2013.
11. Katalog Wyrobów KONSTAL CHORZÓW, KAW, Chorzów, 1977.
12. Lokomotywa dołowa pneumatyczna Ldp-45. Dokumentacja techniczno-ruchowa. CMG KOMAG, Gliwice 1988 r.
13. Lokomotywa dołowa akumulatorowa Lda-12K-EMA. Instrukcja. ITG KOMAG, Gliwice 2013 r.
14. Materiały informacyjne firmy Arnold Jung Lokomotivfabrik G.m.b.H.
15. Materiały informacyjne firmy CKD Praha.
16. www.uiksa.pl
17. www.ferrit.cz/pl
18. www.phs-strojarnе.sk

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2013 r.