

Rozwój dołowych maszyn transportowych z napędem spalinowym

dr inż. Edward Pieczora
dr inż. Piotr Dobrzaniecki
dr inż. Krzysztof Kaczmarczyk
mgr inż. Hubert Suffner
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

Pierwsze zastosowanie silnika spalinowego do napędu maszyn transportowych w wyrobiskach podziemnych miało miejsce w kopalniach zachodniej Europy (Wielka Brytania, Niemcy). Rozwój spalinowych maszyn transportowych w polskich kopalniach zapoczątkowany został pracami badawczo-rozwojowymi realizowanymi w ITG KOMAG. Prace te zaowocowały powstaniem w latach sześćdziesiątych kopalnianego ciągnika spalinowego KCS KOCUR. W wyniku prowadzenia kolejnych prac powstała lokomotywa Lds-70, a następnie Lds-100. Zalety napędu spalinowego, jakimi są: mobilność, zasięg, duża siła pociągowa oraz swoboda prowadzenia prac transportowych, zdecydowały, że był to napęd wielu innowacyjnych maszyn transportowych opracowanych w ITG KOMAG, takich jak: lokomotywa Lds-100K-EMA, PIOMA LDS 80, LZS-150, lokomotywa do kolei podwieszanej Lps-80, LPS-90 kolei zębatej spągowej PIOMA-VACAT.

Abstract:

Diesel engine was used for the first time to drive transportation machines in mine undergrounds in Western European countries (Great Britain, Germany). Development of diesel transportation machines in Polish mines started with R&D projects realized by KOMAG Institute of Mining Technology. KCS KOCUR diesel mine hauler designed in 1960-ties was the first result of these projects. Further projects resulted in development of Lds-70 and Lds-100 diesel locomotives. The following advantages of diesel drives such as: mobility, long distance range, high pulling force as well as easy transporting operations caused that this drive was used in designs of many innovative transportation machines developed in KOMAG, such as: Lds-100K-EMA, PIOMA LDS 80, LZS-150 locomotives, locomotives for Lps-80, LPS-90 suspended monorail and PIOMA-VACAT floor-mounted railway.

Słowa kluczowe: górnictwo, wyrobiska podziemne, maszyny transportowe, napęd spalinowy

Keywords: mining industry, underground workings, transportation machines, diesel drive

1. Wstęp

Pierwsze podziemne maszyny transportowe z silnikami cieplnymi zastosowano w Anglii w pierwszej połowie XIX wieku. Pojazdy te (lokomotywy) posiadały palenisko węglowe. Ze względu na duże ilości wydzielanej pary i dymu nie dawały zadawalających rezultatów. Przełomem w rozwoju górniczych napędów spalinowych było skonstruowanie w 1897 r. wysokoprężnego silnika z zapłonem samoczynnym (silnik Diesla), który charakteryzował się większą sprawnością ogólną oraz zasilany był olejem napędowym. Opracowanie układu wylotu spalin z tzw. płuczką wodną umożliwiło uruchomienie w Wielkiej Brytanii produkcji pierwszych lokomotyw dołowych z silnikiem Diesla o mocy 22 kW [12]. W kolejnych latach nastąpił ich dynamiczny rozwój, przede wszystkim w Wielkiej Brytanii (firmy HUNLSET i PLYMOUTH), w Niemczech (firmy BEDIA, DIEMA, RUHRTHALER, SCHARF) i Czechosłowacji (ZTS MARTENS). W latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX w. w Czechosłowacji, dołowe maszyny z napędem spalinowym (lokomotywy i kolejki podwieszane) były podstawowym środkiem transportu (ponad 200 eksploatowanych maszyn) [12]. W KOMAG-u od lat sześćdziesiątych prowadzone są prace badawczo-rozwojowe w ww. zakresie. Stworzyły one podstawę do opracowania bezpiecznych w eksploatacji, w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem, rozwiązań dołowych maszyn z napędem spalinowym i wdrożeniu ich do eksploatacji w podziemiach kopalń węgla kamiennego.

2. Początki rozwoju polskich maszyn transportowych z napędem spalinowym

Pierwsze prace dotyczące zastosowania silnika spalinowego do dołowej maszyny mobilnej, prowadzone w KOMAG-u (wówczas Zakładach Konstrukcyjno-Mechanicznych Przemysłu Węglowego), zaowocowały opracowaniem w latach sześćdziesiątych XX w. kopalnianego ciągnika spalinowego KCS KOCUR (rys. 1), przeznaczonego do eksploatacji w kopalniach niegazowych. Do napędu zastosowano czterosurowy silnik wysokoprężny typu S-312S o mocy 30 KM, produkcji byłych Zakładów Mechanicznych URSUS. Moment obrotowy z silnika przekazywany był poprzez jednotarczowe sprzęgło suche, skrzynię biegów i przekładnie boczne na każde z czterech kół. Ciągnik wyposażony był w trzy niezależne układy hamulcowe. Charakteryzował się bardzo dobrą zwrotnością (wewnętrzny promień skrętu wynosił 0,72 m) oraz bogatym wyposażeniem, które stanowiły: hydrauliczny pomost materiałowy, lemiesz spychacza, pojemnik samozaładowczy (o pojemności 0,5 m³), dźwig hydrauliczny, przyczepa uniwersalna o nośności 30 kN, przyczepa jednoosiowa o nośności 30 kN, przyczepa samowyładowcza o nośności 40 kN, przyczepa do przewozu materiałów wybuchowych oraz przyczepa do przewozu osób. Ciągnik był dostosowany do transportu części maszyn i urządzeń, ładunków drobnych i masowych oraz przewozu osób, a także mechanizacji prac pomocniczych [1].



Rys. 1. Kopalniany ciągnik spalinowy KCS KOCUR [1]

Na podstawie powyższej konstrukcji opracowano rozwiązanie przeciwybuchowe, o symbolu KOCUR BM, z przystosowanym do pracy w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem silnikiem spalinowym S-34G (produkcji ZM URSUS) wyposażonym w chłodzony wodą kolektor wylotowy spalin [1].

Ciągnik KOCUR był w tamtym czasie bardzo nowoczesnym rozwiązaniem, które znalazło zastosowanie w kopalni „Gottwald” w Katowicach. Zakończenie przez ZM URSUS produkcji ww. silników spowodowało zaniechanie produkcji ciągnika.

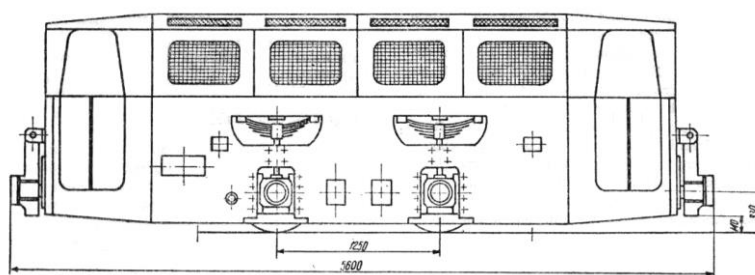
W KOMAG-u (ZKMPW) opracowano wówczas również pojazdy oponowe oraz samojezdne wozy odstawcze, dla kopalń rud miedzi, którymi były: wóz Delta 6 (jednoczłonowy, z napędem elektryczno-hydraulicznym), Delta 12 (jednoczłonowy, z napędem spalinowo-hydraulicznym) oraz Delta 20 (przegubowy, z teleskopowym rozładunkiem) [1]. Konstrukcje te stały się podstawą do rozwoju polskich rozwiązań wozów oponowych z napędem spalinowym dla kopalń rud miedzi, opracowanych i produkowanych m. in. przez Wrocławską Fabrykę Maszyn Budowlanych FADROMA oraz Zakłady Mechaniczne LEGMET.

3. Lokomotywy dołowe spalinowe

Prace nad opracowaniem i wdrożeniem do produkcji i stosowania polskich dołowych lokomotyw z napędem spalinowym poprzedziło wykonanie opracowania w 1970 r. „Analiza możliwości stosowania lokomotyw spalinowych w kopalniach gazowych ze szczególnym uwzględnieniem kopalń ROW (Rybnickiego Okręgu Węglowego – dop. aut.)”. W efekcie w KOMAG-u opracowano rozwiązanie jednobryłowej lokomotywy dołowej o symbolu Lds-70, bazującej na silniku typu S-44G, produkowanym przez ZM URSUS, przystosowanym do pracy w wyrobiskach potencjalnie zagrożonych wybuchem.

Prototyp lokomotywy wykonały Rybnickie Zakłady Naprawcze Przemysłu Węglowego, a przeprowadzone w KWK „1-Maja” próby potwierdziły jej pełną przydatność ruchową oraz zakładane parametry techniczne (siła uciągu, prędkość jazdy, moc). Z uwagi na zaniechanie przez ZM URSUS produkcji ww. silnika wysokoprężnego, lokomotywa Lds-70 nie weszła do produkcji seryjnej.

W związku z tym podjęto prace nad opracowaniem nowego rozwiązania lokomotywy jednobryłowej, oznaczonej symbolem Lds-100 (rys. 2), w której zastosowano produkowany przez WSW ANDORIA w Andrychowie zespół napędowy ZN-400/25 z silnikiem wysokoprężnym SW-400/K1 o mocy 85 KW.

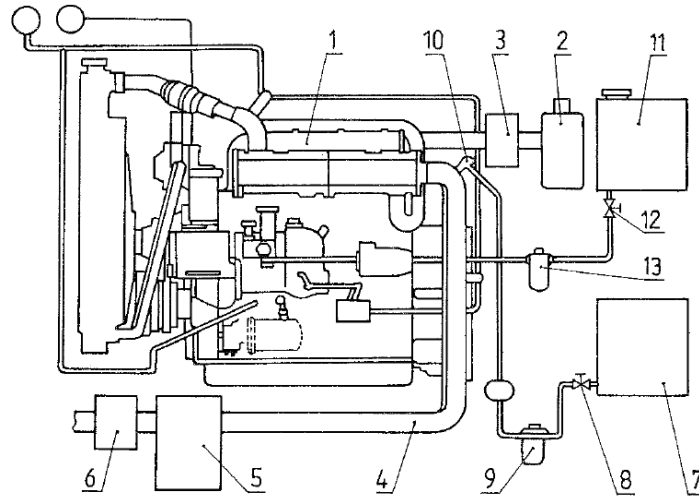


Rys. 2. Lokomotywa Lds-100 [6]

Silnik ten w wersji handlowej nie spełniał wymagań dotyczących toksyczności spalin. Każdorazowo, przed pierwszym zamontowaniem w lokomotywie, a następnie okresowo, podczas eksploatacji, był poddawany regulacji pompy wtryskowej w specjalistycznym laboratorium Politechniki Wrocławskiej, a później Politechniki Śląskiej. Regulacja ta powodowała obniżanie mocy silnika o ok. 30%.

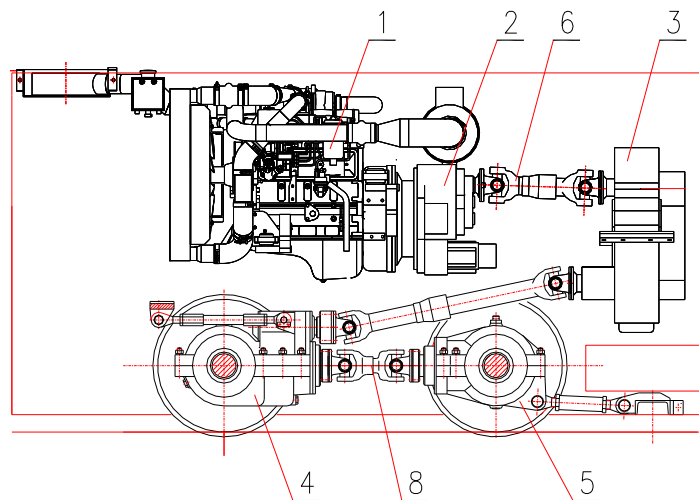
Niedogodnością był również stosunkowo krótki czas, w którym silniki zachowywały wymagane parametry spalin – silniki były wymontowywane w warunkach dołowych i poddawane regulacji na powierzchni co 6 miesięcy. W celu spełnienia obowiązujących w tym czasie wymagań ww. silniki wyposażono w specjalnie skonstruowany, chłodzony wodą kolektor wylotowy, gdzie następowało wstępne schładzanie spalin, natomiast końcowe miało miejsce w płuczce wodnej.

W celu zachowania wymaganej temperatury powierzchni zewnętrznej układu wylotowego do przewodu wylotowego, łączącego silnik z płuczką wodną, wtryskiwano wodę. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe rozwiązanie napędu spalinowego stosowanego w dołowych maszynach transportowych, m.in. w lokomotywie Lds-100.



Rys. 3. Rozwiązanie napędu spalinowego zastosowanego w dołowych maszynach transportowych [10]
 1 – silnik spalinowy, 2 – filtr powietrza, 3 – przerywacz płomieni, 4 – przewód wylotowy spalin,
 5 – płuczka spalin, 6 – przerywacz płomieni, 7 – zbiornik wody chłodzącej, 8 – zawór odcinający,
 9 – filtr powietrza, 10 – dysza wtrysku wody, 11 – zbiornik paliwa, 12 – zawór odcinający, 13 – filtr paliwa

Wprowadzono także zabezpieczenie wyłączające silnik, w przypadku braku wody. Układ dolotowo-wylotowy, o ognioszczelnej budowie, zabezpieczono od strony dolotu powietrza i wylotu spalin przerywaczami płomieni. Sterowanie napędem spalinowym zrealizowano na drodze pneumatycznej. W lokomotywie Lds-100 (podobnie jak w Lds-70) zastosowano mechaniczne przeniesienie napędu z silnika spalinowego na koła jezdne (rys. 4).



Rys. 4. Schemat mechanicznego przeniesienia napędu w lokomotywie Lds-100 [4]
 1 – silnik wysokoprężny; 2 – przekładnia hydrokinetyczna (zmiennik momentu); 3 – przekładnia rewersyjna; 4 – przekładnia kątowna przednia; 5 – przekładnia kątowna tylna; 6, 7, 8 – wały napędowe

W latach 1976-1978 Chorzowska wytwórnia Konstrukcji Stalowych KONSTAL wyprodukowała serię próbną pięciu egzemplarzy lokomotyw Lds-100, które wdrożono do eksploatacji w KWK „1-Maja”. Mimo dużego zapotrzebowania na nie ze strony kopalń, ze względu na brak kooperantów w zakresie produkcji przekładni zębatych, KONSTAL zaprzęstał ich produkcję.

W 1982 roku uruchomiono produkcję lokomotywy Lds-100 (rys. 5) w Zakładach Mechanicznych ZAMET w Rudzie Śląskiej. Lokomotywa ta po badaniach przeprowadzonych przez Zakład Atestacji GIG i KD Barbara, została dopuszczona przez Wyższy Urząd Górniczy do stałej eksploatacji w podziemiach kopalń węgla, rud, soli i innych minerałów w wyrobiskach „a”, „b” i „c” niebezpieczeństwa wybuchu.



Rys. 5. Lokomotywa Lds-100 produkcji ZAMET [6]

Restrukturyzacja przemysłu węglowego, przeprowadzona w latach 90-tych, spowodowała zastój na rynku dostaw nowych maszyn górniczych. Na rynku pojawiło się sporo maszyn z likwidowanych kopalń lub ich oddziałów, zapełniając luki w „umaszynowieniu” pracujących kopalń. Jednoczesne otwarcie rynku krajowego dla dostawców zagranicznych spowodowało napływ maszyn z zagranicy, zwłaszcza z rynku niemieckiego, co jeszcze bardziej ograniczyło produkcję nowych maszyn, doprowadzając niejednokrotnie ich krajowych wytwórców do bankructwa. Dopiero po 2000 roku pojawiło się zapotrzebowanie na części zamienne dla tych maszyn, a później na nowe lokomotywy. Remontów oraz produkcji części zamiennych do znajdujących się jeszcze w eksploatacji lokomotyw Lds-100, w oparciu o dokumentację KOMAG-u, podjęła się firma Hellfeier Sp. z o.o.

Uruchomieniem produkcji nowych lokomotyw zainteresowała się również firma Energo-Mechanik Sp. z o.o., z którą w 2006 r. podpisano umowę obejmującą komercjalizację opracowanego w KOMAG-u rozwiązania lokomotyw Lds-100K-EM (rys. 6), przeznaczonej do eksploatacji w podziemnych wyrobiskach rud miedzi.



Rys. 6. Lokomotywa Lds-100K-EM [6]

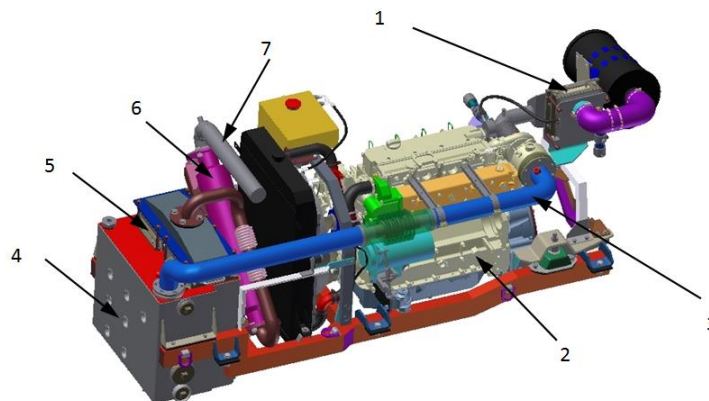
W tym czasie, w związku z akcesją Polski do Unii Europejskiej, zmieniły się wymagania dotyczące maszyn, w tym górniczych. W lokomotywie Lds-100K-EM zastosowano turbodoładowany silnik wysokoprężny firmy Cummins mocy 90 kW z mechanicznym przeniesieniem napędu, z wykorzystaniem przekładni hydrokinetycznej. Sterowanie obrotami silnika, prędkością jazdy, hamowaniem, wyborem kierunku jazdy oraz załączaniem piasecznic zrealizowano na drodze elektrohydraulicznej. W lokomotywie zastosowano typowy rozruch elektryczny. Wyposażono ją także w układ kontroli sprawności maszynisty (czuwak), współpracujący z hamulcem awaryjno-postojowym.

Doświadczenia nabyte przez specjalistów KOMAG-u przy opracowaniu i wdrożeniu lokomotywy Lds-100K-EM w zakładach górniczych KGHM Polska Miedź S.A. wykorzystano podczas opracowywania kolejnego jej rozwiązania przeznaczonego do eksploatacji w kopalniach węgla kamiennego. W lokomotywie o symbolu Lds-100K-EMA (rys. 7) zastosowano wysokoprężny, turbodoładowany silnik niskotoksyczny D5AT firmy Volvo Penta oraz układ mechanicznej transmisji momentu obrotowego z silnika na koła jezdne, z przekładnią hydrokinetyczną (rys. 4).



Rys. 7. Lokomotywa dołowa spalinowa Lds-100K-EMA [6]

W celu spełnienia obowiązujących wymagań, w tym zwłaszcza wynikających z dyrektywy ATEX, opracowano ognioszczelny układ dolotowo-wylotowy (rys. 8). Zrezygnowano z wtrysku wody do układu wylotowego na rzecz chłodzenia układu wylotowego. Zespoły kolektora wylotowego, turbosprężarki oraz przewodu wylotowego, łączącego silnik z płuczką wodną, są chłodzone wodą. W części dolotowej i wylotowej zastosowano kasetowe przerywacze płomieni.



Rys. 8. Elementy układu dolotowo-wylotowego lokomotywy Lds-100K-EMA [5]

1 - dolotowy przerywacz płomieni, 2- silnik spalinowy, 3- przewód wylotowy, 4 - płuczka wodna,
5 - wylotowy przerywacz płomieni, 6- iskrochron, 7- rozrzedzacz spalin

W lokomotywie Lds-100K-EMA zastosowano, opracowany przez KOMAG i firmę ELSTA Sp. z o.o., mikroprocesorowy układ sterująco-zabezpieczający, współpracujący z zespołem rozdzielaczy elektrohydraulicznych [2]. Układ kontroluje poprawność pracy napędu spalinowego pod kątem przekraczania krytycznych wartości parametrów, jak również „sprawności” działania operatora (maszynisty). Zastosowano, z powodzeniem, technikę elektrohydraulicznego, proporcjonalnego sterowania obrotami silnika spalinowego (w efekcie prędkością jazdy) oraz hydrauliczny rozruch silnika spalinowego.

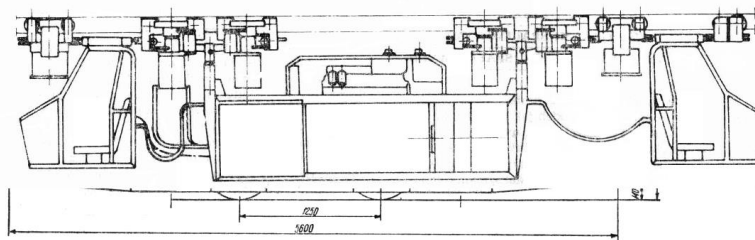
Rozwiązanie lokomotywy Lds-100K-EMA jest ciągle doskonalone. W wyniku uwag użytkowników wprowadzono, między innymi, odmiany lokomotyw różniące się długością (6000 mm lub 6250 mm), masą (12 Mg lub 15 Mg i siłą uciągu (38 kN lub 42 kN) [12]. Podjęto także prace nad wyposażeniem lokomotywy w silnik o większej mocy, co zaowocowało wprowadzeniem do jej konstrukcji silnika firmy Deutz o mocy 102 kW. Do 2015 roku wdrożono w kopalniach 24 lokomotywy tego typu. W 2012 r. wprowadzono nową odmianę lokomotywy Lds-100K-EMA, z hydrauliczną transmisją momentu obrotowego z silnika spalinowego na koła jezdne. Do napędu zastosowano silnik BF4M1013M firmy Deutz o mocy 102 kW, a hydrauliczne przeniesienie napędu oparto o niezależne zespoły napędowe. Każdy zespół tworzą: pompa zasilająca, silnik hydrauliczny, przekładnia i zestaw kołowy.

4. Koleje podwieszane i spągowe

Oprócz zastosowania napędów spalinowych do lokomotyw kopalnianych kolei podziemnych, zaobserwowano, w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku, wdrożenie ich w kolejach podwieszonych (m. in. firmy: Stephanise – Francja, Scharf - Niemcy). Kolejki takie, przeznaczone do prac transportowych w wyrobiskach nachylonych, w stosunku do powszechnie stosowanych kolejek z napędem linowym, charakteryzują znaczące zalety tj.:

- eliminacja niebezpiecznej liny przenoszącej siłę pociągową,
- bieżąca obserwacja trasy jezdnej oraz przewożonych ładunków przez operatora,
- obniżenie kosztów, wynikające z eliminacji nakładów na konserwację liny oraz zespołów rolek prowadzących na trasie jezdnej.

W 1976 r. w KOMAG-u opracowano dokumentację egzemplarza doświadczalnego ciągnika spalinowego Lps-80 do kolei podwieszanej, który w 1979 r. wykonały Zakłady Urządzeń Naftowych i Gazowniczych w Krośnie. W latach 1979-80 w KWK Ziemowit przeprowadzono próby tej kolei, które pozwoliły na zebranie pierwszych doświadczeń. Do napędu zastosowano silnik SW-400, który, podobnie jak w lokomotywie Lds-100, musiał być regulowany ze względu na uzyskanie wymaganej jakości (toksyczności) spalin. Silnik napędzał pompę RAUCHA o zmiennej wydajności (0-10 dm³/min) i ciśnieniu 20 MPa, a ta z kolei silniki hydrauliczne SW-160 produkcji firmy HYDROSTER. Układ oczyszczania i chłodzenia spalin zapewniał utrzymanie temperatury gazów wylotowych poniżej 70°C [9].



Rys. 9. Lokomotywa spalinowa Lps-80 do kolei podwieszanej [9]

Korzystając z doświadczeń uzyskanych podczas prac nad ciągnikiem spalinowym Lps-80, w 1980 r. opracowano dokumentację prototypu ciągnika Lps-90D. Do napędu zastosowano ww. silnik spalinowy oraz sprawdzony w lokomotywach Lds-100 układ zabezpieczeń, gwarantujący uzyskanie wymaganej toksyczności spalin, a także ich temperatury wylotowej.

Zastosowano pompę typu PAG AZP250 z zabudowanym regulatorem stałej mocy oraz zdalnie (hydraulicznie) sterowanym regulatorem zmiany wydajności i kierunku przepływu oraz zespołem dwóch pomp zębatych. Pompa napędzała silniki hydrauliczne typu SOK-160K. W 1982 roku Zakład Naprawczy Taboru Samochodowego i Sprzętu w Brzesku wykonał prototyp, poddany próbom ruchowym w KWK Murcki, a następnie KWK Piast, które wykazały poprawne działanie większości zespołów. Jedynym mankamentem była niska trwałość wykładzin ciernych kół napędowych [9].

Zebrane doświadczenia wykorzystano podczas realizacji, wspólnie z FMG PIOMA S.A. (w latach 1993÷1996) projektu celowego pt. „System transportu dołowego szynowymi kolejami podwieszonymi z napędem spalinowym”, w ramach którego opracowano, wykonano i przebadano w warunkach stanowiskowych i ruchowych ciągnik spalinowy o symbolu LPS-90 do kolei podwieszanej (rys. 10).



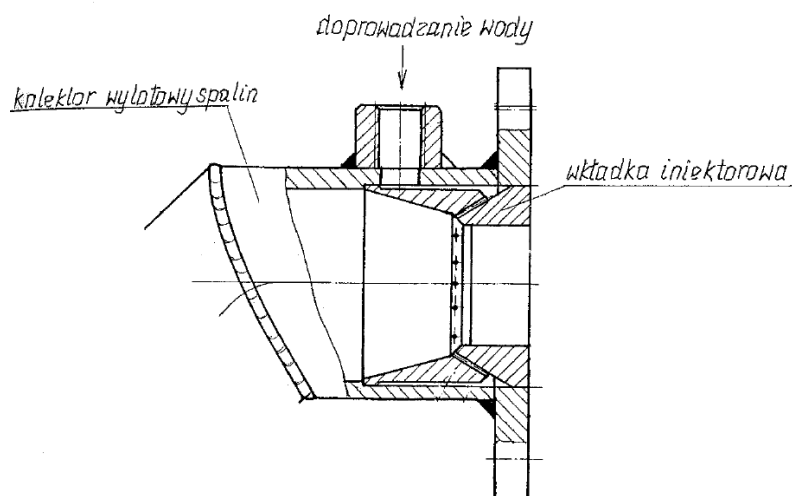
Rys. 10. Lokomotywa podwieszona spalinowa LPS-90 [8]

Do napędu zastosowano wysokoprężny, niskotoksyczny silnik budowy przeciwybuchowej typu D916-6 firmy Deutz MWM, napędzający bezpośrednio pompę hydrauliczną typu A4 VSG 180, zasilającą trzy lub cztery pary zespołów napędowych, utworzonych na bazie silników hydraulicznych i pracujących w układzie przekładni hydrostatycznej w obiegu zamkniętym.

Zastosowano układ dolotowo-wylotowy przedstawiony na rysunku 3 z tym, że zamiast dyszy wtrysku wody zastosowano (opracowaną przez specjalistów FMG PIOMA S.A.) wkładkę inżektorową (rys. 11), co poprawiło skuteczność chłodzenia przewodu łączącego silnik (chłodzony wodą kolektor wylotowy spalin) z płuczką wodną.

Sterowanie wydajnością pompy, a tym samym prędkością jazdy, zrealizowano w sposób zdalny, alternatywnie z obu kabin, a układ regulacji pompy wyposażono dodatkowo w regulator stałej mocy, dopasowujący automatycznie prędkość jazdy w zależności od występującego obciążenia.

Opracowano autorskie rozwiązanie systemu blokad, bazujące na zespole sterująco-zabezpieczającym typu ZSZ-1, konstrukcji KOMAG-u. Sterowanie prędkością jazdy i działaniem hamulców oraz systemu blokad rozwiązano na drodze elektrohydraulicznej.



Rys. 11. Wtrysk wody do przewodu wylotowego spalin za pomocą wkładki iniektorowej [13]

Opracowana w ramach ww. projektu celowego konstrukcja ciągnika była dalej rozwijana przez specjalistów FMG PIOMA S.A. (od 2005 r. w strukturze FAMUR S.A.). W miejsce silnika D 916-6, w wyniku zakończenia jego produkcji, wprowadzono czterocyldrowy silnik D5AT (firmy Volvo Penta) a następnie cztero- i sześciocyldrowy silnik firmy Deutz typu BM1013M. W miejsce płuczki wodnej i przewodu łączącego silnik z płuczką, zastosowano alternatywnie wymiennik ciepła (tzw. suchą płuczkę spalin), wymagający jednak układu chłodzącego o znacznie większej wydajności. Wprowadzono także opracowany przez KOMAG i firmę ELSTA Sp. z o.o., mikroprocesorowy układ sterująco-zabezpieczający [2], współpracujący z zespołem rozdzielaczy elektrohydraulicznych. W wyniku rozwoju opracowano odmiany ciągnika z dwoma, trzema, czterema a nawet pięcioma zespołami napędowymi (parami ciernymi kół napędowych).

Podstawowym zespołem produkowanych przez firmę PIOMA wariantowych rozwiązań kolei podwieszanej z napędem spalinowym jest agregat spalinowo-hydrauliczny (rys. 12).



Rys. 12. Agregat spalinowo-hydrauliczny stosowany przez PIOMA S.A. [7]

W oparciu o ww. agregat specjaliści ITG KOMAG, przy współpracy z konstruktorami firmy PIOMA, opracowali rozwiązanie lokomotywy dołowej spalinowej PIOMA LDS 80 (rys. 13).



Rys. 13. Lokomotywa dołowa spalinowa PIOMA LDS 80 [3]

Trójbryłową konstrukcję lokomotywy oparto o innowacyjne rozwiązanie wózków napędowych, na których wspiera się (za pośrednictwem specjalnych sań) agregat spalinowo-hydrauliczny oraz kabiny operatora: przednia i tylna. Szczególnie interesujące jest rozwiązanie wózków napędowych, w których zastosowano odmienny od tradycyjnego sposób przeniesienia napędu na koła. W tradycyjnych rozwiązaniach (przedstawionych w p. 3), stosuje się zestawy kołowe, których cechą jest połączenie kół sztywną osią, co powoduje powstanie poślizgów na łukach torowisk (zwłaszcza o małym promieniu), skutkujących zmniejszeniem siły uciągu. W przedmiotowych wózkach napędowych koła jezdne przyporządkowane są odrębnie szynie prawej i lewej. Zasilanie napędów z jednego układu hydraulicznego sprawia, że prędkość kół po jednej i drugiej stronie lokomotywy może być zróżnicowana. Umożliwia to dostosowanie prędkości kół do promieni szyn na zakrętach, eliminując poślizg i zwiększając efektywność generowanej siły uciągu. Przekładnie napędowe mają zabudowane hamulce wielopłytkowe, pełniące rolę hamulca awaryjnego i postojowego. Układ hydrauliczny wykorzystywany jest również do hamowania manewrowego. Przy masie własnej 10 Mg lokomotywa skutecznie transportuje masy do 200 ton.

Przedstawiony na rysunku 12 agregat spalinowo-hydrauliczny wykorzystano również w konstrukcji kolei zębatej spągowej z napędem spalinowym PIOMA-VACAT (rys. 14), opracowanej przez specjalistów KOMAG-u, firmy PIOMA i VACAT Sp. z o.o.



Rys. 14. Kolej zębata spągowa z napędem spalinowym PIOMA-VACAT [4]

Kolej ta jest przeznaczona do transportu mas na trasach o nachyleniu do 30°. Porusza się po trasie ceownikowej, podobnej do trasy kolejek z napędem linowym, z tym, że w osi trasy zabudowano pionową listwę lub opcjonalnie podwójną zębatą, o poziomo usytuowanych zębach. Koła zębate osadzono na wspólnych wałach wraz z kołami ciernymi. W zależności od potrzeb może być stosowane cierne lub zębate sprzężenie kół napędowych, z odpowiednią listwą, zaś przejście z jednego napędu na drugi odbywa się płynnie, bez zatrzymania ciągnika.

Konstrukcję ciągnika kolei oparto o powtarzalne cztery moduły jezdno-napędowe, na których umieszczono kabiny i agregat spalinowo-hydrauliczny. Każdy z modułów posiada podwójny zespół napędowy i układ hamulcowy, dzięki czemu zarówno siła pociągowa, jak i siła hamowania jest podzielona na kilka segmentów trasy, co korzystnie wpływa na warunki stateczności, zwłaszcza na nachyleniach. Agregat posadowiono na dwóch środkowych modułach za pomocą specjalnych przegubów.

Wynikiem współpracy specjalistów Instytutu KOMAG i konstruktorów firmy BECKER-WARKOP Sp. z o.o. jest lokomotywa LZS-150 (rys. 15), łącząca cechy lokomotywy oraz ciągnika zębatego.



Rys. 15. Lokomotywa LZS-150 [3]

Podobnie, jak przedstawiona powyżej lokomotywa PIOMA LDS-80, lokomotywa LZS-150 jest konstrukcją trójbryłową, złożoną z dwóch kabin i agregatu spalinowo-hydraulicznego (rys. 15). Kabiny połączono ze sobą sztywną rozwarą, natomiast (opracowany przez specjalistów BECKER-WARKOP Sp. z o.o.) agregat spalinowo-hydrauliczny wsparto na kabinach w sposób wysięgowy, aby dociążyć zestaw kołowy. Maszyna ma możliwość poruszania się po torach kopalnianych kolei podziemnej jak typowa lokomotywa oraz możliwość jazdy na nachyleniach za pomocą napędów zębatkowych. W przypadku tras nachylonych, tor wyposaża się w centralnie ułożoną listwę zębatą zaopatrzoną z obu stron w listwy podchwytowe, w celu zabezpieczenia stateczności maszyny na nachyleniach. W tym trybie maszyna posiada możliwość poruszania się na nachyleniach do 30°. W celu zmiany trybu pracy niezbędne jest zatrzymanie maszyny w ściśle wyznaczonym miejscu i opuszczenie (bądź podniesienie) napędów zębatkowych i wysunięcie (bądź schowanie) podchwytywów. Procedura realizowana jest automatycznie po wybraniu odpowiedniej opcji na pulpicie sterowniczym. Oba rodzaje napędów zlokalizowano w kabinach (rys. 16).



Rys. 16. Model kabiny maszynisty [3]

1- zespół napędu szynowego, 2- zespół napędu zębatkowego, 3- pochyłe bieżnie dla rolek wysięgników, 4-zespół podnoszenia napędu zębatkowego, 5- podchwyt zabezpieczający maszynę na nachyleniu

Każdą z kabin wyposażono w dwa napędy szynowe oraz jeden napęd zębatkowy, w efekcie czego maszyna dysponuje czterema napędami szynowymi i dwoma napędami zębatkowymi. Pompy układu hydraulicznego, w agregacie spalinowo-hydraulicznym, napędza wysokoprężny silnik spalinowy mocy 148 kW. Zasilają one silniki napędów szynowych bądź silniki napędów zębatkowych. Odpowiednio dobrane biegi i przełożenia zębatkowych zespołów napędowych pozwalają na wygenerowanie do 240 kN łącznej siły pociągowej, na pierwszym biegu. W systemie jazdy lokomotywowej maksymalna siła pociągowa wynosi 40 kN, zaś maksymalne prędkości jazdy wynoszą: w systemie zębatkowym - 1,7 m/s, a w systemie lokomotywowym - 4,4 m/s. Pierwszy egzemplarz tej lokomotywy został wdrożony w kopalni DING JI w Chinach.

5. Podsumowanie

Przedstawiony w artykule rozwój napędów spalinowych przeznaczonych dla górnictwa podziemnego jest związany bezpośrednio z rozwojem samych silników spalinowych oraz nowelizacją przepisów, określających zasady stosowania tego typu napędów w warunkach górniczych. Kluczowe kwestie związane są z zagrożeniem wybuchowym wynikającym z obecności palnych gazów i/lub pyłów. Dzięki ewolucji konstrukcji silników spalinowych, zwłaszcza z wyposażeniem kolektora wylotowego w wewnętrzne kanały chłodzące, można spełnić wymogi co do dopuszczalnej temperatury powierzchni zespołów napędu. Nie mniej istotnym zagadnieniem jest konieczność spełnienia wymagań dotyczących ograniczenia ilości substancji szkodliwych obecnych w spalinach. Rozwój silników wysokoprężnych, szczególnie w dziedzinie układów zasilania i dawkowania paliwa pozwolił osiągnąć akceptowalne poziomy emisji substancji szkodliwych, co umożliwiło ich pracę w warunkach podziemnych wyrobisk górniczych bez przekroczenia norm obowiązujących dla powietrza w wyrobisku. Obecnie realizowane prace rozwojowe dotyczące napędów spalinowych koncentrują się w przypadku kopalń węgla kamiennego na dostosowaniu nowoczesnych silników wysokoprężnych typu *common rail* do wymagań dyrektywy ATEX, zwłaszcza w zakresie wyposażenia elektronicznego silnika. W przypadku wzrostu wymagań norm regulujących dopuszczalną ilość substancji szkodliwych emitowanych wraz ze spalinami konieczne będzie zastosowanie urządzeń, takich jak katalizator i/lub filtr cząstek stałych. Należy zwrócić uwagę na problem

techniczny związany z termicznym zabezpieczeniem tych urządzeń, które do poprawnej pracy wymagają bardzo wysokich temperatur. Jednak efektem ich obecności w układzie wylotowym silnika są bardzo niskie poziomy emisji substancji szkodliwych w spalinach.

Literatura

- [1] Antoniak J.: Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach. Katowice: Wyd. Śląsk, 1976.
- [2] Brzeżański Z. i in.: Mechatroniczny układ sterująco-zabezpieczający do dołowych pojazdów z napędem spalinowym. W: III Szkoła Mechanizacji i Automatyzacji Górnictwa "Kombajny chodnikowe"; "Mechatronika w górnictwie", Wisła, 26-28 kwietnia 2006 r. Gliwice: Politechnika Śląska, 2006, s. 93-105.
- [3] Drwięga A.: Niekonwencjonalne systemy przeniesienia napędu w szynowych lokomotywach górniczych LDS-80 i LZS-150. Logistyka 2015, nr 3, s.1-10.
- [4] Drwięga A., Pieczora E., Suffner H.: Nowe rozwiązania górniczych urządzeń transportowych z napędem spalinowym. Maszyny Górnicze 2007, nr 3, s. 34-40.
- [5] Kaczmarczyk K.: Metoda dostosowania silnika do wymagań stawianych górniczym napędem spalinowym: Praca doktorska. Kraków: Politechnika Krakowska, 2014.
- [6] Materiały archiwalne ITG KOMAG.
- [7] Michalak R. i in.: Nowe urządzenia transportowe z agregatem spalinowo-hydraulicznym firmy PIOMA. W: Innowacyjne i bezpieczne systemy mechanizacyjne do eksploatacji surowców mineralnych. KOMTECH 2006, Zakopane, 14-16 listopada 2006 r. T.2. Gliwice: CMG KOMAG, 2006, s. 173-182.
- [8] Myrta Z., Jałmużna J., Pieczora E.: Kolej podwieszona z napędem spalinowym LPS-90 nowoczesnym i bezpiecznym środkiem transportu dołowego. W: Modernizacja systemu transportu podziemnego: Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Szczyrk, czerwiec 1997, Gliwice: CMG KOMAG, 1997, s. XVII 1-14.
- [9] Pieczora E.: Prace prowadzone przez CMG KOMAG w zakresie dołowych i powierzchniowych wąskotorowych lokomotyw spalinowych. W: Dołowe i powierzchniowe wąskotorowe lokomotywy spalinowe w kopalniach przemysłu węglowego: materiały na sympozjum, Gliwice, grudzień 1990. Gliwice: CMG KOMAG, 1990, s. 3-10.
- [10] Pieczora E.: Napęd spalinowy do pojazdów górniczych eksploatowanych w podziemnych wyrobiskach zagrożonych wybuchem pyłu i metanu. W: Napędy i Sterowanie 2001, VII Seminarium towarzyszące VII Targom Producentów, Kooperantów i Sprzedawców Zespołów Napędowych i Układów Sterowania, Gdańsk, 8 luty 2001 r. Gdańsk: Politechnika Gdańska, 2001, s. 69-78.
- [11] Pieczora E.: Prognoza rozwoju szynowych systemów transportowych stosowanych w podziemiach kopalń węgla kamiennego. Gospodarka Surowcami Mineralnymi 2008, nr 1/2, s. 221-232.
- [12] Pieczora E., Suffner H.: Rozwój lokomotyw do kopalnianych kolei podziemnych. Maszyny Górnicze 2013, nr 2, s. 45-54.
- [13] Pieczora E. i in.: Sprawozdanie z badań stanowiskowo-atestacyjnych i prób ruchowych lokomotywy podwieszanej spalinowej LPS-90. CMG KOMAG, Gliwice, grudzień 1996 (materiały niepublikowane).