

Rozwój napędów dołowych kolejek podwieszonych

dr inż. Edward Pieczora
mgr inż. Hubert Suffner
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

Przedstawiono w sposób syntetyczny rozwój dołowych kolejek podwieszonych linowych i jednoszynowych. Omówiono jednoszynowe kolejki z napędem linowym, a następnie spalinowym, zwracając uwagę na ich zalety i ograniczenia stosowania. Dokonano analizy unijnych i krajowych wymagań w zakresie toksyczności spalin wskazując na niekonsekwencje istniejących zapisów. Przedstawiono rozwiązania kolejek z napędem akumulatorowym, w tym opracowanego w KOMAG-u ciągnika GAD-1, jako kierunku przyszłościowego.

Abstract:

Development of cable underground suspended monorails is presented in a concise way. Monorails with a cable drive and then with diesel drives are discussed drawing attention to their advantages and limitations of their use. European Union and Polish regulations regarding the requirements exhaust gases toxicity are analysed indicating inconsistencies of the existing provisions. Design solutions of battery driven monorails including the GAD-1 drive train developed in KOMAG are given as the future trend

Słowa kluczowe: kolej podwieszona, kolej linowa, kolej jednoszynowa, napęd linowy, napęd spalinowy, napęd akumulatorowy

Keywords: suspended monorail, cable train, monorail, cable drive, diesel drive, battery drive

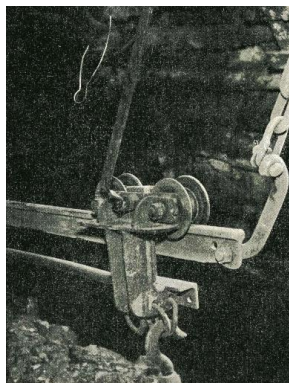
1. Wstęp

Transport kopalniany jest niezbędnym ogniwem procesu wydobywczego każdego zakładu górniczego. Mimo, że transport po spągu był stosowany od początku rozwoju górnictwa, a pierwsze tory kopalniane pojawiły się w XVII wieku, początek rozwoju transportu podwieszono nastąpił dopiero w połowie XX wieku.

Opracowanie nowoczesnych kołowrotów linowych przyczyniło się do rozwoju nowego systemu transportu, z zastosowaniem zamontowanej pod stropem wyrobiska liny, stanowiącej trasę nośną (rys. 1). Podwieszono wózki przemieszczano ręcznie lub za pomocą wciągarek. W pierwszej połowie lat pięćdziesiątych XX-go wieku firma Esehweiler – Bergwerks – Vercin z Niemiec wprowadziła, jako element nośny, typową szynę kolei podziemnej (rys. 2), po główce której poruszały się wózki nośne ciągnięte przez linę, zaś transportowana masa dochodziła do 1000 kg. Podobne rozwiązania wprowadziła na rynek firma Becorit (i inne).



Rys. 1. Podwieszona kolej linowa [13]



Rys. 2. Podwieszona kolej szynowa [13]

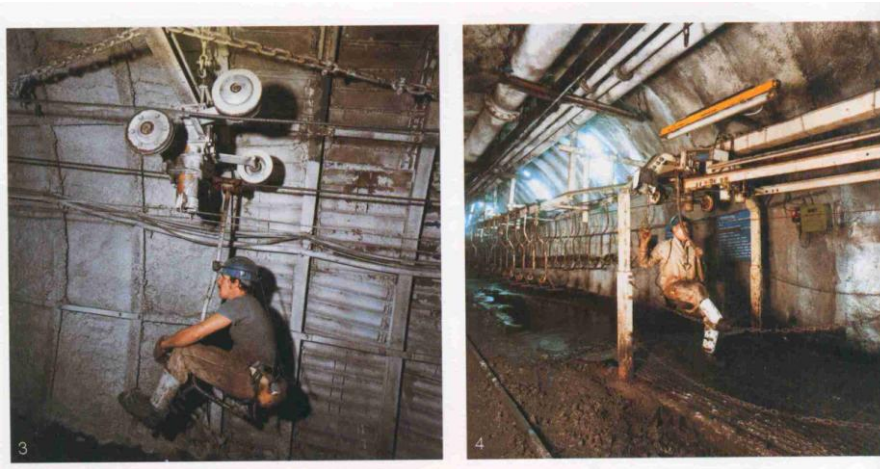


Rys. 3. Podwieszona kolej szynowa (trasa dwuteownikowa) z napędem linowym [13]

W 1956 roku niemiecka firma Scharf wdrożyła, jako element nośny toru podwieszonoego, dwuteownik, przy zastosowaniu napędu linowego (rys. 3).

Zestaw transportowy składał się z wózka ciągnącego, wózków transportowych z wciągnikami ręcznymi, kontenerów i wózka hamulcowego. Taki system rozpowszechniono w kopalniach węgla Zagłębia Ruhry (Niemcy) po 1958, zaś firmy Becorit i Underground Mining Machinery (UMM) wprowadziły go w Wielkiej Brytanii, a firma Macanub we Francji [5].

W latach 60-tych francuska firma Societe APOD opracowała i wdrożyła kolej linową krzeselkową do przewozu ludzi, w której lina stanowiła zarówno element nośny, jak i napędowy. Ideę tę rozwijały inne firmy, w tym niemiecka firma Scharf, której rozwiązanie pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Kolej linowa krzeselkowa firmy Scharf [11]

Znane są dwa rozwiązania techniczne ww. kolei: z krzesłkami zdejmowanymi i na stałe zamocowanymi do liny ciągnąco-nośnej. Kolej tego typu w latach 60-tych XX wieku była testowana również w Polsce, w kopalni Ziemowit.

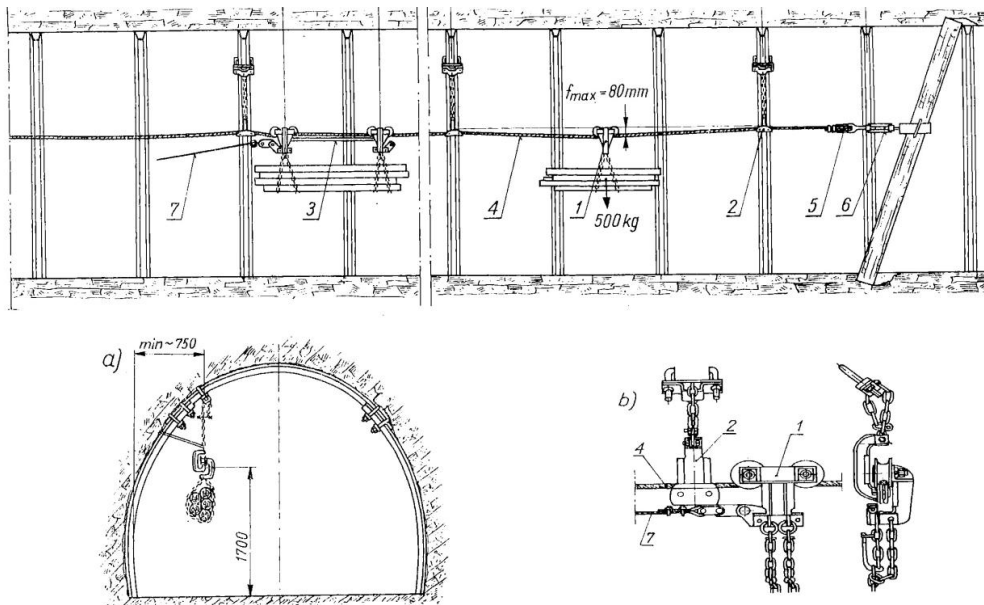
Pod koniec lat sześćdziesiątych rozwój podwieszonoego transportu linowego w Europie Zachodniej praktycznie został zakończony. Okazało się, że możliwości zastosowania tego rodzaju transportu są ograniczone i trudno dostosować go do często zmieniających się w górnictwie warunków eksploatacyjnych. Napęd linowy zastąpiono przez mobilne urządzenia trakcyjne - podwieszony ciągnik (lokomotywę) z napędem spalinowym (wysokoprężnym). Pierwszy ciągnik (lokomotywę) Monorail opracowała firma Qualter Hall z Anglii dla kopalni złota w Republice Południowej Afryki, w 1965 roku [5]. W tym samym czasie ciągnik spalinowy do podziemnej kolei podwieszonoej opracowała także angielska firma Bretty – Cowlshaw Walker. Były to jednak wykonania jednostkowe. Szerszy zakres stosowania zapoczątkowała firma Ruhrthaler z Niemiec, wprowadzając w 1967 roku do kopalń niemieckich i francuskich dwukabinowy ciągnik typu HL 32H. Kolejnymi rozwiązaniami, które pojawiły się na rynku były ciągniki (lokomotywy) firmy Scharf z Niemiec oraz Stephanoise z Francji (1970 rok). W 1967 roku prace nad tego typu rozwiązaniem rozpoczęto w Czechosłowacji w Prievidzy (Bansky Vyskumny Ustav).

Wraz z rozwojem ciągników (lokomotyw) udoskonalano trasy podwieszono, poprzez zwiększenie ich nośności oraz poprawę połączeń i zawieszono. Zmieniono profil I 120 na powszechnie stosowany profil I 140 wg DIN (I 155 wg PN). Obecnie stosowany jest także

profil I 250 o zwiększonej nośności. Udoskonalono również rozwiązania wózków nośnych i hamulcowych oraz zestawów transportowych, w tym wciągników [5].

2. Kolejki z napędem linowym

Pierwsze krajowe rozwiązania kolejek z napędem linowym były wzorowane na konstrukcjach zachodnich, z wykorzystaniem liny jako elementu nośnego i wózków przemieszczanych początkowo ręcznie, a następnie z wykorzystaniem kołowrotów z liną ciągnącą, w układzie otwartym lub zamkniętym. Przykładem takiego rozwiązania może być kolejka TAGOR (rys. 5), z wykorzystaniem której można było prowadzić transport ręczny do nachyleń $0,07 \text{ rad}$ (4°), a powyżej do nachylenia $0,44 \text{ rad}$ (25°), z użyciem liny ciągnącej [1].



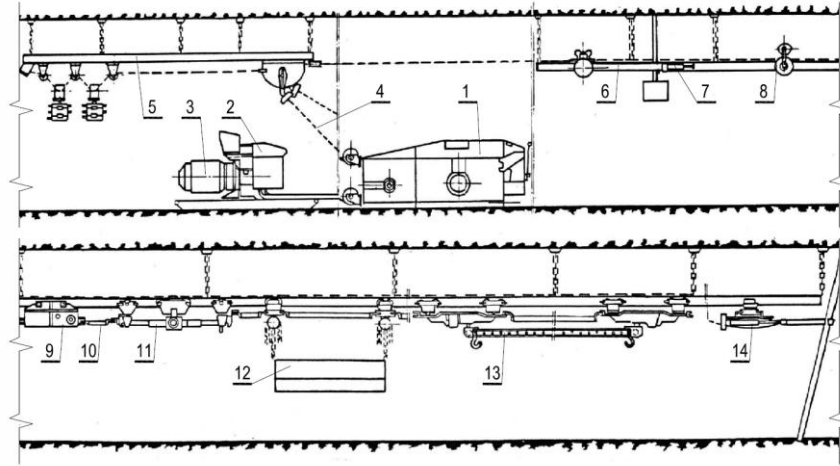
Rys. 5. Kolejka TAGOR [1]

- a) zabudowa kolejki, b) szczegół zamocowania liny nośnej
 1 - wózek nośny, 2 - element podtrzymujący linę nośną, 3 - łącznik, 4 - lina nośna,
 5 - zamocowanie liny nośnej, 6 - śruba rzymska, 7 - lina podtrzymująca

Kolej podwieszona, z liną jako elementem nośnym miała dwa podstawowe ograniczenia, tj.: nośność oraz problemy z prowadzeniem liny nośnej na zakrętach i przegięciach trasy. Aby uniknąć nadmiernego uginania liny nośnej przy zwiększaniu jej obciążenia ładunkiem zawieszonym na wózku jezdnym, należało zwiększyć jej napięcie wstępne. Efektem tego było występowanie zjawiska „ścianienia zakrętu”, czyli układania się liny po cięciwie łuku (zakrętu). Z tego względu przy zwiększającej się masie transportowanych elementów oraz wydłużaniu się dróg transportowych, linowy element nośny został zastąpiony sztywną szyną nośną, która przeszła swoją ewolucję od typowej szyny kolei kopalnianej, przez dwuteowniki 120 i 140, do specjalnie walcowanych dwuteowników 155 oraz szyn o specjalnym kształcie.

W pierwszym okresie stosowania, podwieszane koleje szynowe były projektowane i wykorzystywane jedynie do transportu materiałów. Z czasem przystosowano je do jazdy ludzi. Osiągnięto to poprzez wdrożenie specjalnych kabin osobowych, zawieszonych na podwieszanej jezdni szynowej oraz wprowadzenie systemu zabezpieczeń, umożliwiającego wyłączenie napędu kolei z każdego miejsca trasy, również przez jadących koleją.

Jedną z pierwszych krajowych kolei szynowej podwieszanej z napędem linowym było rozwiązanie znane dziś pod nazwą KSP-32 (rys. 6), będące efektem współpracy KOMAG-u, FMG PIOMA i firmy BECORIT (licencja). Pierwotnie kolej przystosowana była tylko do transportu materiałów, z czasem została zmodernizowana i przystosowana do przewozu ludzi. Do 2002 r. FMG PIOMA wyprodukowała ponad 1200 kolejek tego typu [8].



Rys. 6. Kolej podwieszona z napędem linowym [12]

- 1 - kołowrót przewojowy, 2 - stanowisko sterowania, 3 - agregat zasilający, 4 - lina ciągnąca,
 5 - stacja napinająca, 6 - podwieszona jezdnia szynowa, 7- odbojnica, 8 - zespół prowadzenia liny,
 9 - wózek hamulcowy, 10 - cięgło łączące, 11- wózek ciągnący, 12 - kontener do przewozu drobnicy,
 13 - belka nośna, 14 - zwrotnia linowa

W praktyce ruchowej, do napędu tej kolei wykorzystywano, między innymi, kołowroty typu EKO z tarczą paraboliczną. Dopiero wprowadzenie kołowrotów przewojowych, ze zwiększonym kątem opasania, pozwoliło na osiągnięcie siły pociągowej o wartości 32 kN. Pierwszym z serii napędów do podwieszonych kolejek linowych był napęd typu HNK-1 pokazany na rysunku 7.



Rys. 7. Kołowrót i stanowisko sterowania napędu HNK-1 [12]

Konstrukcja kolei KSP, jak i samego napędu linowego, opracowana w KOMAG-u, była stopniowo rozwijana czego wynikiem było wdrożenie kolei KSP-63 z napędem typu HNK-2 a następnie HNK-3 (rys. 8).



Rys. 8. Kołowrót linowy przewojowy napędu HNK-3 [12]

W tabeli 1 przedstawiono dane techniczne napędów linowych produkcji krajowej stosowanych w kolejkach podwieszonych.

Zestawienie parametrów technicznych napędów linowych produkcji krajowej [12]

Tabela 1

Typ napędu	Maksymalna siła w linie [kN]	Maksymalna prędkość liny [m/s]	Uwagi
HNK-1	32	2	napęd elektrohydrauliczny stosowany w kolei KSP-32
MNK	32	2	napęd mechaniczny stosowany w kolei KSP-32
HNK-2	63	2	napęd elektrohydrauliczny stosowany w kolei KSP-63 i SKS-60 M
HNK-3	100	1,5	napęd elektrohydrauliczny stosowany w kolei KSP-63 i SKS-60 M
NK-100H	100	2	napęd elektrohydrauliczny stosowany w kolei KSP-63 i SKS-100/900 NL

W celu osiągnięcia wymaganej siły pociągowej w linie ciągnącej, niezbędnym było wywołanie napięcia wstępnego, dociskającego ją do bieżni kołowrotu. Zrealizowano to z wykorzystaniem stacji napinających, które dodatkowo kompensowały (ograniczone) wydłużenie liny. Początkowo były to stacje ciężarowe (rys. 6). Wywierane przez nie stałe napięcie liny ciągnącej musiało odpowiadać maksymalnej sile pociągowej napędu, która nie była jednak zawsze wykorzystywana. Nadmierne napinanie liny wpływało niekorzystnie na jej trwałość, jak również na trwałość rolek ją prowadzących i wykładzin ciernych kołowrotu. Stąd też wprowadzono do konstrukcji kolei stacje napinające proporcjonalne, z napędem hydraulicznym lub pneumatycznym. Urządzenia te generują w linie napięcie wstępne proporcjonalne do oporów ruchu zestawu transportowego. W latach 80-tych XX wieku firma PIOMA wprowadziła na rynek stację napinającą proporcjonalną, początkowo o działaniu mechanicznym, później z napędem hydraulicznym. Układ rolek, bloków i wózków linowych pozwalał na wytworzenie napięcia wstępnego w linie ciągnącej, dostosowanego do aktualnego zapotrzebowania na siłę ciągnącą.

W latach 80-tych XX w. KOMAG, przy współudziale FMG PIOMA, wychodząc naprzeciw oczekiwaniom użytkowników, opracował i wdrożył w KWK Brzeszcze kolej linową krzeselkową typu KLK-2000W/1.

Doświadczenia z okresu eksploatacji kolejek z napędem linowym ujawniły jednak ich ograniczenia tj.:

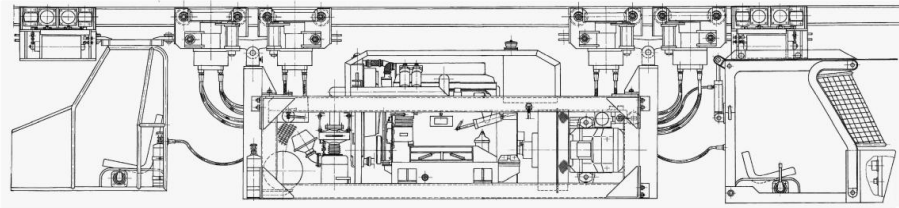
- możliwość prowadzenia transportu jedynie wzdłuż, z góry wyznaczonej trasy,
- brak wizualnego kontaktu pracownika obsługującego napęd z zestawem transportowym,
- możliwość niekontrolowanego zerwania liny ciągnącej i wynikające stąd zagrożenie wypadkowe,
- konieczne stałe nakłady na konserwację liny oraz zespołów jej rolek prowadzących na trasie jezdnej.

Rozwój podwieszonych kolei szynowych z napędem linowym prowadzono w kierunku zwiększenia możliwości przewozowych, a więc zwiększenia nośności i wytrzymałości jezdni szynowych i zespołów zestawu transportowego np. belek nośnych oraz zwiększenia siły pociągowej napędów linowych. Z uwagi na podstawową niedogodność tego rozwiązania jaką była ograniczona długość transportu, wynikająca z długości zabudowanego układu prowadzenia liny ciągnącej, koleje te zostały stopniowo zastępowane rozwiązaniami wykorzystującymi napędy własne (autonomiczne), w postaci ciągników spalinowych. W polskich kopalniach (stan na 31.12.2016 r.), wg wiedzy autorów, eksploatowano 48 kolejek podwieszonych z napędem linowym.

3. Kolejki z napędem spalinowym

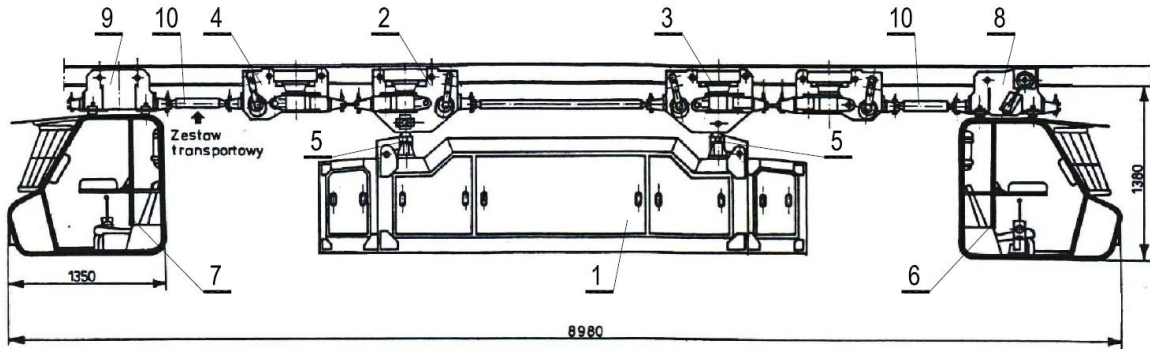
W 1976 roku w KOMAG-u opracowano dokumentację egzemplarza doświadczalnego lokomotywy spalinowej (ciągnika) Lps-80 do kolei podwieszanej, który w 1979 r. wykonały Zakłady Urządzeń Naftowych i Gazowniczych w Krośnie. W latach 1979÷80 w KWK Ziemowit przeprowadzono jej próby, które pozwoliły na zebranie pierwszych doświadczeń eksploatacyjnych. Do napędu zastosowano silnik SW-400, który był regulowany ze względu na konieczność uzyskania wymaganej jakości (toksyczności) spalin. Silnik napędzał pompę RAUCHA o zmiennej wydajności ($0\div 10 \text{ dm}^3/\text{min}$) i ciśnieniu 20 MPa, a ta z kolei silniki hydrauliczne SW-160 produkcji firmy HYDROSTER. Układ oczyszczania i chłodzenia spalin zapewniał utrzymanie wymaganej temperatury gazów wylotowych poniżej 70°C [14].

Korzystając z doświadczeń pracy lokomotywy (ciągnika) Lps-80, w 1980 roku opracowano dokumentację prototypu lokomotywy podwieszanej spalinowej (ciągnika) Lps-90D (rys. 9). Do napędu zastosowano również ww. silnik spalinowy oraz sprawdzony 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, który poddano próbom ruchowym w KWK Murcki, a następnie KWK Piast. Wykazały one poprawne działanie większości zespołów. Głównym mankamentem była jednak niska trwałość wykładzin ciernych kół napędowych [14].



Rys. 9. Ciągnik podwieszony typu Lps-90D [14]

Zebrane doświadczenia wykorzystano podczas realizacji, w latach 1993÷1996, wspólnie z FMG PIOMA S.A. (obecnie FAMUR S.A.), projektu celowego pt.: „System transportu dołowego szynowymi kolejami podwieszonymi z napędem spalinowym”, w ramach którego opracowano, wykonano i przebadano, w warunkach stanowiskowych i ruchowych, lokomotywę (ciągnik spalinowy) o symbolu LPS-90 (rys. 10 i rys. 11) do kolei podwieszonej. Lokomotywę (ciągnik) przeznaczono do napędu jednoszynowych kolei podwieszanych do transportu materiałów, elementów maszyn i urządzeń oraz do jazdy ludzi w podziemnych korytarzowych wyrobiskach górniczych, w tym w wyrobiskach ze stopniem „a” „b” i „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu.



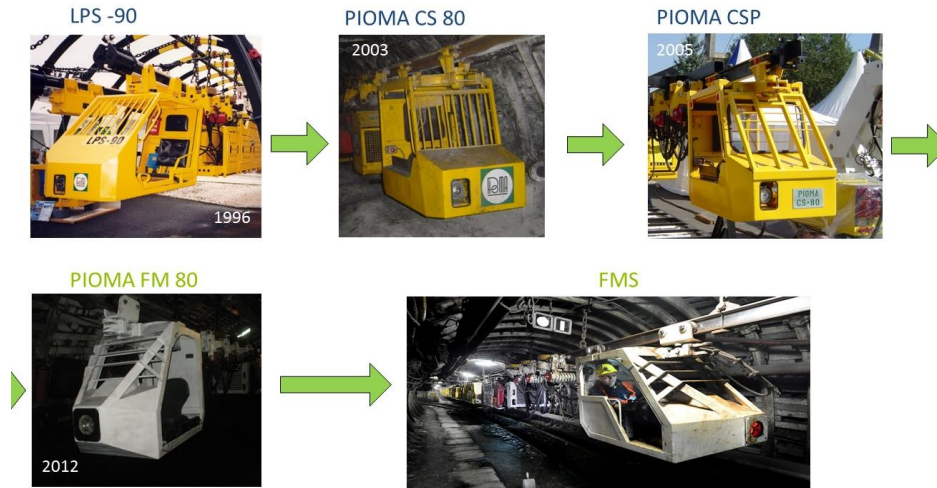
Rys 10. Lokomotywa (ciągnik) LPS-90 do jednoszynowej kolei podwieszonej [8]

1 - przedział silnikowy, 2 - wózek napędowo-jezdny I, 3 - wózek napędowo-jezdny II,
4 - wózek napędowo-jezdny III, 5 - zawiesia, 6 - kabina główna, 7 - kabina pomocnicza,
8 - wózek nośny kabiny głównej, 9 - wózek nośny kabiny pomocniczej, 10 - ciągnia KSP-63



Rys. 11. Lokomotywa (ciągnik) LPS-90 a) na targach KATOWICE'95, b) w wyrobisku podziemnym [8]

Wyniki projektu stały się podstawą do późniejszego rozwoju kolejek podwieszonych z napędem spalinowym w FMG PIOMA S.A. (FAMUR S.A.) – rysunek 12.



Rys. 12. Rozwój kolei z napędem spalinowym w FMG PIOMA S.A. (FAMUR S.A.) [8]

W polskich kopalniach węgla kamiennego początek stosowania kolei podwieszonych z napędem spalinowym datuje się na pierwszą połowę lat dziewięćdziesiątych XX w. Na koniec 1995 r., wg wiedzy autorów, w eksploatacji znajdowało się 35 szt. tego typu urządzeń (KWK Ziemowit, KWK Piast, KWK Bogdanka - po 6 szt., KWK Mysłowice - 4 szt., KWK Wesoła, KWK Staszic - 3 szt., KWK Murcki, Czczott - po 2 szt., KWK Brzeszcze, KWK Janina, KWK Andaluzja po 1 szt.). Były to kolejki firm: Ruhrthaler, Scharf, BVU Prievidza i ORTAS Příbram.

W polskich kopalniach (stan na 31.12.2016 r.), wg wiedzy autorów, eksploatowanych jest 566 kolejek (ciągników) podwieszonych z napędem spalinowym, a ich wiodącymi dostawcami są firmy: BECKER-WARKOP Sp. z o.o., FAMUR S.A., SCHARF, BEVEX i FERRIT. Na rysunku 13 przedstawiono przykłady aktualnie oferowanych kolejek (ciągników) z napędem spalinowym, a w tabeli 2 ich podstawowe parametry. Ich podstawowymi zaletami są [4]:

- możliwość transportu po nieograniczonej długości i rozgałęzionej trasie,
- możliwość ciągłej obserwacji trasy przez maszynistę,
- łatwe i szybkie wydłużanie lub skracanie trasy,
- łatwy załadunek i wyładunek,
- łatwość podwieszania różnych nośników,
- zwiększenie efektywności transportu (przewożenie maszyn i urządzeń górniczych w całości) dzięki dużej sile uciągu,
- bezstopniowa zmiana prędkości jazdy lokomotywy,
- możliwość dojazdu (w tym załogi) bezpośrednio do przodka,
- poprawa bezpieczeństwa pracy dzięki zastosowaniu elektronicznego systemu kontroli i blokad oraz przeciwwybuchowej instalacji elektrycznej.

Dłuższa eksploatacja kolejek ujawniła jednak zasadnicze ograniczenia stosowania napędów spalinowych w podziemnych wyrobiskach kopalń węgla kamiennego [14]:

- emisja spalin i ciepła do otaczającej atmosfery kopalnianej,
- generowanie hałasu.



Kolejki KP-95, KP-96, KP-148 firmy Becker-Warkop Sp. z o.o. [6]



Kolejki FMS i CSZ firmy FAMUR S.A. [8]



Kolejki DLZ110F i DLZ210F firmy Ferrit [9]



Kolejki DZ 80 firmy Scharf [11]



Kolejka LZH 120D5.1 firmy ORTAS [10]



Kolejki BEVEX 80 i BEVEX 90 firmy Bevex [7]

Rys. 13. Przykłady aktualnie oferowanych kolejek z napędem spalinowym

Podstawowe dane wybranych kolejek z napędem spalinowym [6, 7, 8, 9, 10, 11]

Tabela 2

Typ	Producent	Max. siła uciągu [kN]	Liczba wózków napędowych	Max. prędkość [m/s]	Max. nachylenie [°]	Moc silnika spalinowego [kW]	Producent silnika spalinow.
KP-95	Becker-Warkop	40÷240	2÷12	2,5	30	80÷95	Deutz
KP-96	Becker-Warkop	40÷240	2÷12	2,5	30	96	Perkins
KP-148	Becker-Warkop	40÷240	2÷12	2,5	30	148	Deutz
FMS	Famur	85/105/120/140	4/5/6/7	2,5	30	81 lub 95	Deutz
CSZ	Famur	85/105/120/140	4/5/6/7	2,6	30	123	Deutz
DZ 80	Scharf	160	3÷8	2	30	80	Liebherr
DZ 130	Scharf	160	3÷8	2,5	30	130	Liebherr
DLZ 110F	Ferrit	60÷140	4÷7	2,0	30	81	Zetor
DLZ 210F	Ferrit	110÷330	4÷12	3,1	30	127÷142	John Deere
LZH120D5.1	Ortas	80/100/120	4/5/6	2,0/1,7/1,4	30	81	Zetor
BEVEX 80	Bevex	60/80/100	3/4/5	2,0/1,8/1,5	25	81	-
BEVEX 90	Bevex	80/100/120	4/5/6	2,0/1,8/1,5	30	91	-

Przeanalizowano wymagania w zakresie emisji spalin. Niestety, nie opracowano normy zharmonizowanej dotyczącej kolejek podwieszonych z napędem spalinowym (w przeciwieństwie do lokomotyw kopalnianej kolei podziemnej czy też oponowych wozów spalinowych). W wykazie norm zharmonizowanych znajduje się jedynie norma PN-EN 1679-1+A1:2011[18] określająca dopuszczalne wartości emisji substancji toksycznych w spalinach napędów górniczych (tabela 3).

Dopuszczalne wartości emisji substancji toksycznych wg normy [2, 18]

Tabela 3

Moc P	Tlenek węgla CO	Węglowodory HC	Tlenki azotu NO _x	Cząstki stałe PM
[kW]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
37 ≤ P < 75	6,5	1,3	9,2	0,85
75 ≤ P < 130	5,0	1,3	9,2	0,7
130 ≤ P < 560	5,0	1,3	9,2	0,54

Zgodnie z dyrektywą spalinową [3] górnicze napędy spalinowe kwalifikują się do „niedrogowych maszyn ruchomych“. W tabeli 4 podano dopuszczalne wartości emisji substancji toksycznych przytoczone za dyrektywą spalinową [3], znacznie różniące się (zwłaszcza co do tlenków azotu i cząstek stałych) od podanych w ww. normie.

Dopuszczalne wartości emisji substancji toksycznych wg dyrektywy spalinowej [2, 3]

Tabela 4

Moc	Data wprowadzenia	Tlenek węgla CO	Węglowodory HC	Tlenki azotu NO _x	Cząstki stałe PM
[kW]		[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Stage 3A					
19÷37	01.2007	5,5	NO _x +HC – 7,5		0,6
37÷75	01.2008	5,0	NO _x +HC – 4,7		0,4
75÷130	01.2007	5,0	NO _x +HC – 4,0		0,3
130÷560	01.2006	3,5	NO _x +HC – 4,0		0,2
Stage 3B					
37÷56	01.2013	5,0	NO _x +HC – 4,7		0,025
56÷75	01.2012	5,0	0,19	3,3	0,025
75÷130	01.2012	5,0	0,19	3,3	0,025
130÷560	01.2011	3,5	0,19	2,0	0,025
Stage IV					
56÷130	10.2014	3,5	0,19	0,4	0,025
130÷560	01.2014	5,0	0,19	0,4	0,025

W obowiązującym od 1 lipca 2017 r. Rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych [19] ujęto zapis, że „w pojazdach i w maszynach z napędem spalinowym stosuje się silniki z zapłonem samoczynnym a zawartość tlenu węgla w spalinach wyrzucanych przez układ wydechowy silnika, w każdym jego ustalonym stanie pracy, wynosi nie więcej niż:

- 500 ppm – w kopalniach niezagrażonych wybuchem metanu;
- 500 ppm – w kopalniach zagrożonych wybuchem metanu, w przypadku gdy stężenie metanu w powietrzu zasysanym wynosi 0,0%;
- 1200 ppm – w kopalniach zagrożonych wybuchem metanu, w przypadku gdy stężenie metanu w powietrzu zasysanym wynosi 1,0%;

- 1800 ppm – w kopalniach zagrożonych wybuchem metanu, w przypadku gdy stężenie metanu w powietrzu zasysanym wynosi 1,5%”.

Analizując powyższe zapisy można zauważyć rozbieżności w wymaganiach unijnych a także niekonsekwencje pomiędzy wymaganiami unijnymi a krajowym prawodawstwem.

4. Kolejki z napędem akumulatorowym

Ograniczenia stosowania kolejek z napędem spalinowym, wyszczególnione w punkcie 3, stały się przyczyną podjęcia prac nad napędem akumulatorowym. Kryterialnym czynnikiem, stymulującym jego rozwój było opracowanie i uruchomienie nowoczesnej aparatury energoelektronicznej spełniającej wymogi bezpiecznego stosowania w atmosferach potencjalnie wybuchowych oraz baterii akumulatorów. W 1997 r. firma Scharf opracowała pierwszą kolejkę podwieszoną (typu EMTS) z napędem akumulatorowym, przeznaczoną do przewozu osób i transportu materiałów w niezagrożonych wybuchem wyrobiskach kopalń rud. Korzystając z nabytych doświadczeń opracowano ciągnik akumulatorowy typu BZ 45-2-40 do kolejek podwieszonych eksploatowanych w podziemnych wyrobiskach kopalń węgla kamiennego. Podobną kolejkę, typu DLZA 90F, zaoferowała w ostatnich latach firma Ferrit. W obu przypadkach zastosowano baterie kwasowo-ołowiowe, których duża masa i wymiary (niska gęstość energii) ograniczają funkcjonalność obu wymienionych rozwiązań.

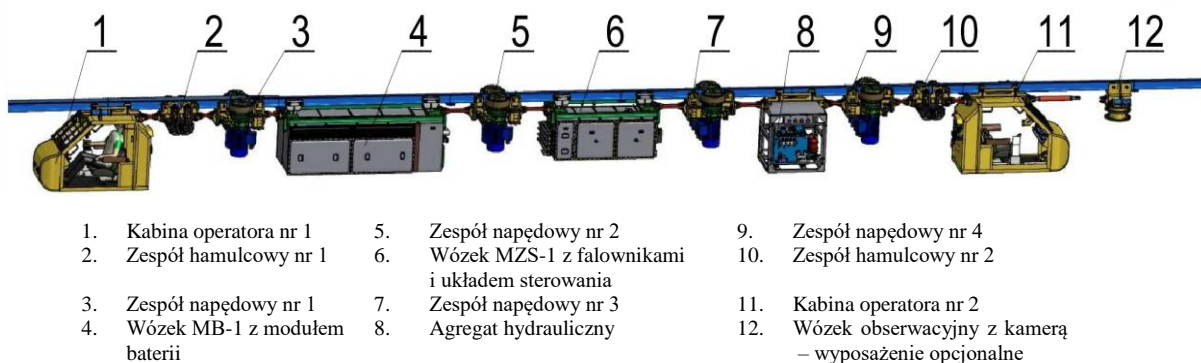


Rys. 14. Kolejka akumulatorowa typu BZ 45-2-40 firmy Scharf [11]

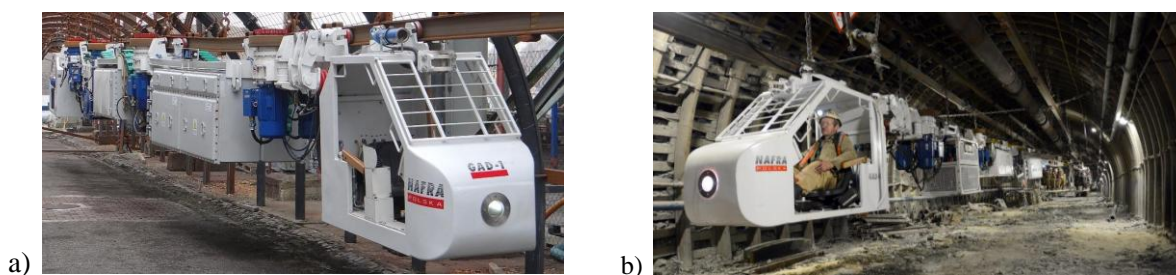


Rys. 15. Kolejka akumulatorowa typu DLZA 90F firmy Ferrit [9]

W latach 2010÷2013, w efekcie realizacji, dofinansowanego przez NOT projektu celowego, którego beneficjentem była firma NAFRA Polska Sp. z o.o. a wykonawcą prac badawczo-rozwojowych KOMAG, opracowano ciągnik akumulatorowy GAD-1 (rys. 16) przeznaczony do kolejek podwieszonych. Rozwiązanie powstało przy współpracy z Instytutem Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL oraz firmami IMPACT S.C., VACAT Sp. z o.o., SOMAR S.A. i ENEL-PC Sp. z o.o.



Rys. 16. Budowa ciągnika GAD-1 [15]



Rys. 17. Podwieszony ciągnik akumulatorowy GAD-1
a) na stanowisku producenta, b) w wyrobisku podziemnym [15]

Do zasilania napędu ciągnika podwieszono GAD-1 zastosowano ogniwa litowo-polimerowe, o dużej gęstości energii, które do tej pory nie były stosowane w górnictwie. Źródłem zasilania są cztery zespoły baterii, składające się z szeregowo połączonych ze sobą 72 ogniw, tworzących baterie o napięciu 265VDC. Zespoły baterii o łącznej energii 160 kWh umieszczono w osłonie ognioszczelnej.

W wózkach napędowych zastosowano bezszczotkowe silniki synchroniczne z magnesami trwałymi. Moment obrotowy z silników jest przenoszony na trasę jezdnią w sposób cierny, a przy nachyleniach powyżej 10° , poprzez przełożenie zębate (po trasie zębatej). Sekwencyjna zmiana trybu napędowego z ciernego na zębate i odwrotnie, kolejno, przez poszczególne wózki napędowe, realizowana jest automatycznie. Wymienione silniki cechuje wysoka sprawność (w porównaniu z silnikami indukcyjnymi) i bardzo precyzyjne sterowanie wektorem momentu.

Nadrzędny system sterowania ciągnikiem GAD-1 zbudowano w oparciu o strukturę rozproszoną, łączącą ze sobą wszystkie elementy układu sterowania za pośrednictwem magistrali CAN, która cechuje się wysoką odpornością na zakłócenia. Uniwersalność zastosowanego protokołu CanOpen pozwala też na komunikowanie się podzespołów różnych producentów oraz umożliwia przełączanie pomiędzy aplikacjami w celu diagnozowania i konfiguracji magistrali CAN.

Atutem podwieszono ciągnika GAD-1 jest możliwość rekuperacji energii podczas hamowania elektrycznego. Za poprawność działania tego procesu odpowiada inteligentny system nadzoru zespołem baterii – BMS, który służy do ciągłego monitoringu parametrów, tak całego zespołu baterii, jak i każdego ogniwa indywidualnie, decydując o równomiernym rozplywie energii pomiędzy poszczególnymi ogniwami. Dodatkowo, pełni rolę zabezpieczenia, zarówno programowego jak i sprzętowego, przed niepożądanymi zdarzeniami, takimi jak: przeładowanie, czy nadmierne rozładowanie baterii akumulatorów.

Odpowiedni dobór parametrów komponentów współpracujących z zespołem baterii oraz opracowane algorytmy bezpieczeństwa pozwoliły na wytworzenie maszyny przeznaczonej do pracy w warunkach zagrożeń skojarzonych (zagrożenie wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego, pożarowe, wodne). Spełnienie wymagań unijnych potwierdzono wydaniem przez Jednostkę Notyfikowaną certyfikatów badania typu WE. Odrębne certyfikaty, obejmujące podstawowe moduły ciągnika tj.: baterii akumulatorów MB-1, moduł zasilająco-sterujący MZS-1 i ładujący MŁ-1, pozwalają na ich niezależną implementację w innych urządzeniach przeznaczonych do eksploatacji w atmosferach potencjalnie wybuchowych.

W tabeli 5 zestawiono parametry techniczne kolejek podwieszonych z napędem akumulatorowym.

Podstawowe parametry kolejek podwieszonych z napędem akumulatorowym [9, 11, 15]

Tabela 5

Typ	EMTS	BZ 45-2-40 (600 Ah)	DLZA 90F	GAD-1
Producent	Scharf	Scharf	Ferrit	NAFRA
Max. siła uciągu	80 kN	45 kN	180 kN	80 kN ^{xi} 120kN ^{xx/}
Max. prędkość jazdy	3,5 m/s	2,0 m/s	2,0 m/s	2,0 m/s ^{xi} 1,4 m/s ^{xx/}
Max. nachylenie	30°	18°	30°	25°
Moc jednego silnika	29 kW	10 kW	7,5 kW	9 kW
Liczba silników napędu jazdy	2, 3 lub 4	4	4 ÷ 12	8
Liczba wózków napędowo - jezdnych	2, 3 lub 4	2	2 ÷ 6	4
Sposób przeniesienia napędu	cierny	cierny	cierny	cierny - zębaty

^{xi} - napęd cierny, ^{xx/} - napęd zębaty

5. Podsumowanie

Początek stosowania transportu powieszzonego w podziemnych wyrobiskach górniczych datuje się na połowę XX w. Eksploatowano wówczas kolejki z napędem linowym, w których lina była również trasą jezdnią. W pierwszej połowie lat pięćdziesiątych XX wieku wprowadzono kolejki szynowe z napędem linowym. Początkowo trasą była szyna kopalnianej kolei podziemnej. Dopiero w 1956 r. wdrożono po raz pierwszy (popularnie dziś stosowaną) trasę dwuteownikową. Produkcję tego typu kolejek (KSP-32, KSP-63), w oparciu o opracowaną w KOMAG-u dokumentację, uruchomiła FMG PIOMA. Stwierdzone ograniczenia tych urządzeń stały się przyczyną opracowania lokomotyw (ciągników) spalinowych do dołowych kolejek podwieszonych. Początek ich szerszego stosowania w polskich kopalniach datuje się na pierwszą połowę lat dziewięćdziesiątych XX w. Na koniec 2016 r. eksploatowano 566 podwieszonych kolejek z napędem spalinowym. Pomimo wielu zalet, ich stosowanie wiąże się jednak z poważnymi ograniczeniami tj.: emisją spalin i ciepła do otaczającej atmosfery kopalnianej oraz generowanie hałasu. Mając powyższe na uwadze specjaliści Instytutu KOMAG, przy współpracy ze specjalistami z partnerskich jednostek badawczych i przemysłowych, opracowali innowacyjne rozwiązanie, zasilanego z baterii jonowych, ciągnika GAD-1, będącego kolejnym krokiem w rozwoju dołowych kolejek podwieszonych.

Kolejki podwieszane z napędem akumulatorowym stanowią alternatywę do stosowanych obecnie kolejek z napędem spalinowym, zwłaszcza w wyrobiskach o ograniczonej wentylacji.

Można prognozować, że w przyszłości, po obniżeniu kosztów wyposażenia elektrycznego (zwłaszcza akumulatorów), staną się one nowym powszechnie stosowanym środkiem transportu powieszzonego.

Literatura

- [1] Antoniak J.: Podstawowe maszyny robocze kopalnianego transportu pomocniczego
Wydawnictwo Śląsk Katowice 1973

- [2] Brzeżański M., Pieczora E., Kaczmarczyk K.: Rozwiązania napędów spalinowych do zastosowań w wyrobiskach podziemnych węgla kamiennego. Solutions of diesel drives for use in underground workings of hard coal mine. *Silniki Spalinowe* 2010 nr 3
- [3] Dyrektywa 97/68/We Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 1997 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do środków dotyczących ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych z silników spalinowych montowanych w maszynach samojezdnych nieporuszających się po drogach
- [4] Fuksa D., Kęsek M., Ślósarz M., Bator A.: Koncepcja zintegrowanego systemu transportu poziomego w kopalniach węgla kamiennego. *Przegląd Górniczy* 2015 nr 8
- [5] Kovalik M.: Vykonnejsia viacdielna zavesna lokomotiva LZH-50. D.3. *Spravodaj* 1988 nr 1
- [6] Materiały i prospekty firmy Becker Warkop Sp. z o.o.
- [7] Materiały i prospekty firmy Bevex
- [8] Materiały i prospekty firmy FAMUR S.A.
- [9] Materiały i prospekty Ferrit
- [10] Materiały i prospekty firmy Ortas
- [11] Materiały i prospekty firmy Scharf
- [12] Materiały własne autorów
- [13] Mitręga J. [red]: Rozwój mechanizacji robót podziemnych w kopalniach węgla kamiennego w PRL. Wyd. Śląsk, Katowice 1967 r.
- [14] Pieczora E.: Prognoza rozwoju szynowych systemów transportowych stosowanych w podziemiach kopalń węgla kamiennego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 2008 Tom 24 Zeszyt 1/2
- [15] Pieczora E., Polnik B.: Nowe rozwiązania napędów elektrycznych do górniczych maszyn transportowych. *Cuprum* 2015 nr 3
- [16] Pieczora E., Dobrzaniecki P., Kaczmarczyk K., Suffner H.: Rozwój dołowych maszyn transportowych z napędem spalinowym. *Maszyny Górnicze* 2016 nr 2
- [17] Pieczora E.: Prace prowadzone przez CMG KOMAG w zakresie dołowych i powierzchniowych wąskotorowych lokomotyw spalinowych. Materiały na sympozjum. Dołowe i powierzchniowe wąskotorowe lokomotywy spalinowe w kopalniach PW. CMG KOMAG Gliwice, grudzień 1990 r.
- [18] PN-EN 1679-1+A1:2011 – Silniki spalinowe tłokowe - Bezpieczeństwo - Część 1: Silniki o zapłonie samoczynnym
- [19] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. 2017 poz. 1118) - <http://www.dziennikustaw.gov.pl/du/2017/1118/1>