

Układy napędowe ciągników manewrowych

dr inż. Krzysztof Kaczmarczyk
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Driving systems in manoeuvring drivetrains

Streszczenie:

W artykule opisano i porównano układy napędowe ciągników manewrowych przemieszczających się po podwieszanej trasie jednoszynowej. Przedstawiono podział ciągników na poszczególne grupy ze względu na sposób zasilania, rodzaj zasilania, rodzaj napędu oraz rodzaj współpracy koła napędowego z szyną jezdnią.

Abstract:

Driving systems for manoeuvring drivetrains moving along a suspended monorail are described and compared. Classification of drivetrains into groups due to supply type and method, type of a drive, as well as type of cooperation of driving wheel with a rail is presented.

Słowa kluczowe: górnictwo, transport, ciągnik podwieszony, ciągnik manewrowy

Keywords: mining industry, transportation, suspended drivetrain, manoeuvring drivetrain

1. Wprowadzenie

Jednym z najistotniejszych procesów zakładu górniczego jest realizacja prac transportowych. Wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje podziemnego transportu górniczego: transport główny i transport pomocniczy.

Transport główny ma za zadanie odstawę urobku z przodków wydobywczych i jest realizowany głównie przenośnikami taśmowymi, w mniejszym stopniu koleją kopalnianą. Transport pomocniczy służy do odstawy materiałów i przewozu ludzi. W tym procesie technicznym wykorzystuje się szeroki asortyment dostępnych maszyn i urządzeń. W zakresie transportu pomocniczego wyróżnia się transportowe prace manewrowe wykorzystujące urządzenia przemieszczające się po podwieszanej trasie jednoszynowej. Urządzenia te nazywane ciągnikami manewrowymi pracują przede wszystkim w obrębie stacji materiałowych, komór montażowych oraz warsztatów. Jak podano w [12] w górnictwie węglowym, na dzień 27.12.2016, stosowanych było 125 ciągników manewrowych i tak w:

Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A. – 68 szt.

Polskiej Grupie Górniczej Sp. z o.o. – 27 szt.

Katowickim Holdingu Węglowym S.A. – 10 szt.

PG Silesia Sp. z o.o. – 8 szt.

LW Bogdanka S.A. – 12 szt.

2. Rozwiązania konstrukcyjne ciągników manewrowych

W ofercie dla polskiego górnictwa znajduje się szereg rozwiązań technicznych ciągników manewrowych. Różnią się one między sobą zasilaniem i przeniesieniem mocy z silnika na koła napędowe oraz sposobem sprzężenia koła napędowego z szyną jezdnią.

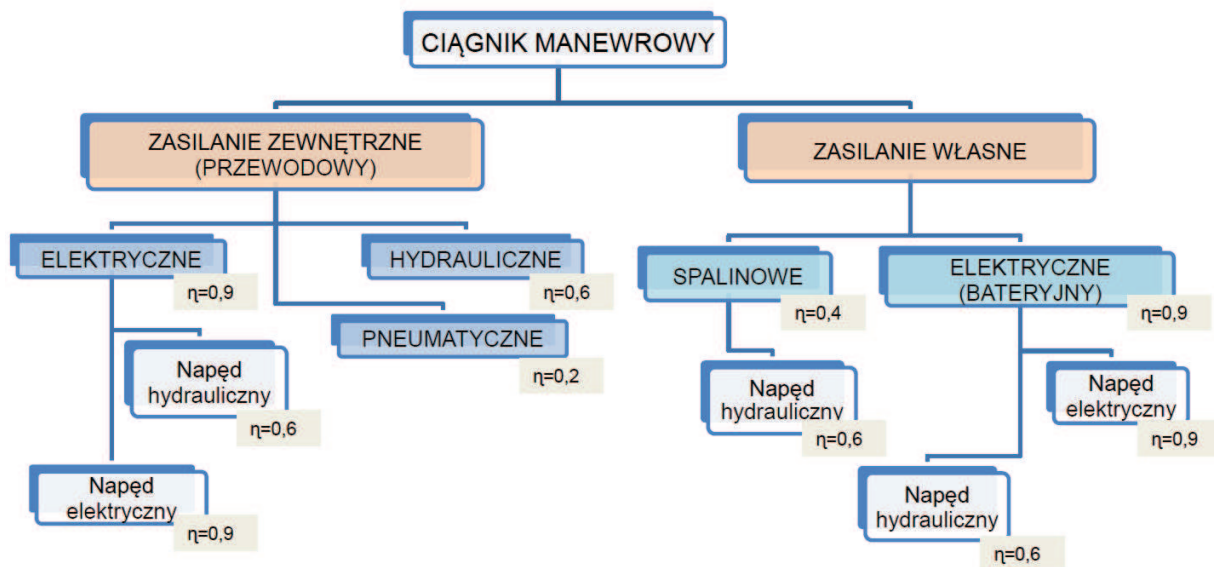
Ciągniki zasilane są przewodowo lub z własnych źródeł energii.

Ze względu na rodzaj zasilania wyróżniamy ciągniki:

- pneumatyczne,
- hydrauliczne,
- elektryczne,
- spalinowe.

Generowanie momentu obrotowego na koła napędowe może być realizowane z wykorzystaniem silników pneumatycznych, hydraulicznych oraz elektrycznych.

Podział ciągników manewrowych ze względu na sposób zasilania i rodzaj napędu przedstawiono na rysunku 1:



η - szacowana sprawność układu napędu ciągnika.

Rys. 1. Podział ciągników manewrowych [opracowanie własne]

Ze względu na współpracę kół napędowych z szyną jezdnią można dodatkowo wyróżnić:

- ciągniki z kołami napędowymi współpracującymi z półką szyny (koło napędowe dociskane do półki szyny siłami ciężkości),
- ciągniki z kołami napędowymi współpracującymi z środkiem szyny (koło napędowe dociskane do środka szyny siłą zewnętrzną),
- ciągniki z napędowymi kołami zębatymi (koła kształtowe współpracują z zębatką zintegrowaną z trasą jezdnią).

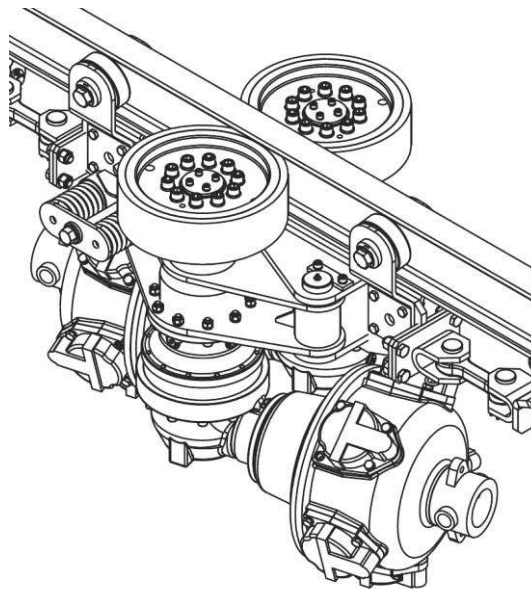
2.1. Ciągniki manewrowe zasilane za pośrednictwem przewodu

Przewodowe ciągniki manewrowe mogą być zasilane przewodem zawieszonym na wózkach kablowych lub wleczonym po spągu. Ze względu na ograniczoną długość przewodu ciągniki te pracują z reguły na odcinkach nieprzekraczających 150 m. Najpopularniejszymi ciągnikami w tej grupie są ciągniki pneumatyczne (rys. 2).



Rys. 2. Ciągnik pneumatyczny firmy GTA [10]

Popularność ciągników pneumatycznych wynika przede wszystkim z dostępności sprężonego powietrza w wyrobiskach korytarzowych oraz bezpieczeństwa zasilania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i pyłu węglowego. Główną niedogodnością w użytkowaniu takich ciągników jest hałas związany z pracą silnika pneumatycznego. Zastosowanie dodatkowych elementów tłumiących na wylocie silnika wpływa na pogorszenie parametrów użytkowych. W układach napędowych stosowane są głównie silniki z tłokiem obrotowym, napędzającym poprzez przekładnię koło napędowe. Istnieją również rozwiązania bazujące na silnikach tłokowych. Przykładowym rozwiązaniem jest ciągnik PPCM (rys. 3). Ciągnik ten o mocy zainstalowanej 13 kW charakteryzuje się siłą pociągową na poziomie 10 kN, a jego maksymalna prędkość jazdy wnosi 2 m/s [4].



Rys. 3. Ciągnik PPCM konstrukcji ITG KOMAG [4]

Z kolei zastosowanie w układzie napędowym silnika hydraulicznego w miejsce silnika pneumatycznego wymaga zastosowania agregatu hydraulicznego. Zasilanie silników olejem pod wysokim ciśnieniem pozwala na zwiększenie siły pociągowej oraz obniża poziom hałasu. Dodatkową zaletą jest uniezależnienie od parametrów sprężonego powietrza w magistrali,

albowiem ciśnienie i ilość sprężonego powietrza w przodkach nie zawsze są wystarczające do napędu silników pneumatycznych. Pewną niedogodnością związaną z zasilaniem przewodem pneumatycznym lub hydraulicznym jest trudność jego prowadzenia z uwagi na fakt, że pod wpływem ciśnienia przewód staje się twardszy. Sytuacja ta nie występuje w przypadku zasilania elektrycznego (sztywność przewodu jest zawsze taka sama). Na rysunku 4 przedstawiono przykładowy ciągnik manewrowy PUT-1 zasilany przewodowo wraz z wciągnikami elektrycznymi. W ciągniku tym zastosowano silniki elektryczne z hamulcem. Silniki te napędzają poprzez przekładnie planetarne koła napędowe. Przy mocy zainstalowanej w układzie napędowym równej 2,2 kW, ciągnik uzyskuje siłę pociągową na poziomie 10 kN oraz prędkość maksymalną przejazdu 0,2 m/s [5].



Rys. 4. Ciągnik PUT-1 konstrukcji ITG KOMAG [5]

Ciągniki zasilane przewodem elektrycznym mogą być stosowane w konfiguracji, w której silnik elektryczny wykorzystywany jest do zasilania przejezdnego agregatu hydraulicznego. W takim przypadku napęd ciągnika realizowany jest hydraulicznie.

2.2. Ciągniki manewrowe z zasilaniem własnym

Podstawową zaletą ciągników z własnym zasilaniem jest eliminacja przewodu zasilającego. Zasięg ciągnika jest nieograniczony, a czas jego pracy uzależniony jedynie od pojemności źródła energii. W tej grupie ciągników wyróżnia się ciągniki spalinowe i bateryjne. Ciągniki spalinowe to rozwiązania konstrukcyjne, w których silnik diesla wykorzystany jest do napędu zespołu hydrostatycznego. Przykładowy ciągnik spalinowy przedstawiono na rysunku 5. Moc silnika spalinowego w tym przypadku wynosi 36 kW. Urządzenie może być wyposażone w jedną lub dwie jednostki napędowe, o uciążu 20 kN lub 40 kN [8]. Zastosowanie silnika spalinowego pozwala na uzyskiwanie dużych sił pociągowych. Silniki spalinowe stwarzają jednak zagrożenia wynikające z emisji spalin, ciepła oraz hałasu. Wymuszają konieczność stosowania systemów schładzania i oczyszczania spalin [7] oraz wzmożonej wentylacji wyrobisk, w których jest eksploatowany ciągnik.



Rys. 5. Ciągnik manewrowy DMZ50F-RC firmy Ferrit [8]

Innymi rozwiązaniami ciągników z własnym źródłem zasilania są ciągniki bateryjne. Przykładem takiego rozwiązania jest ciągnik PCA-1 (rys. 6).

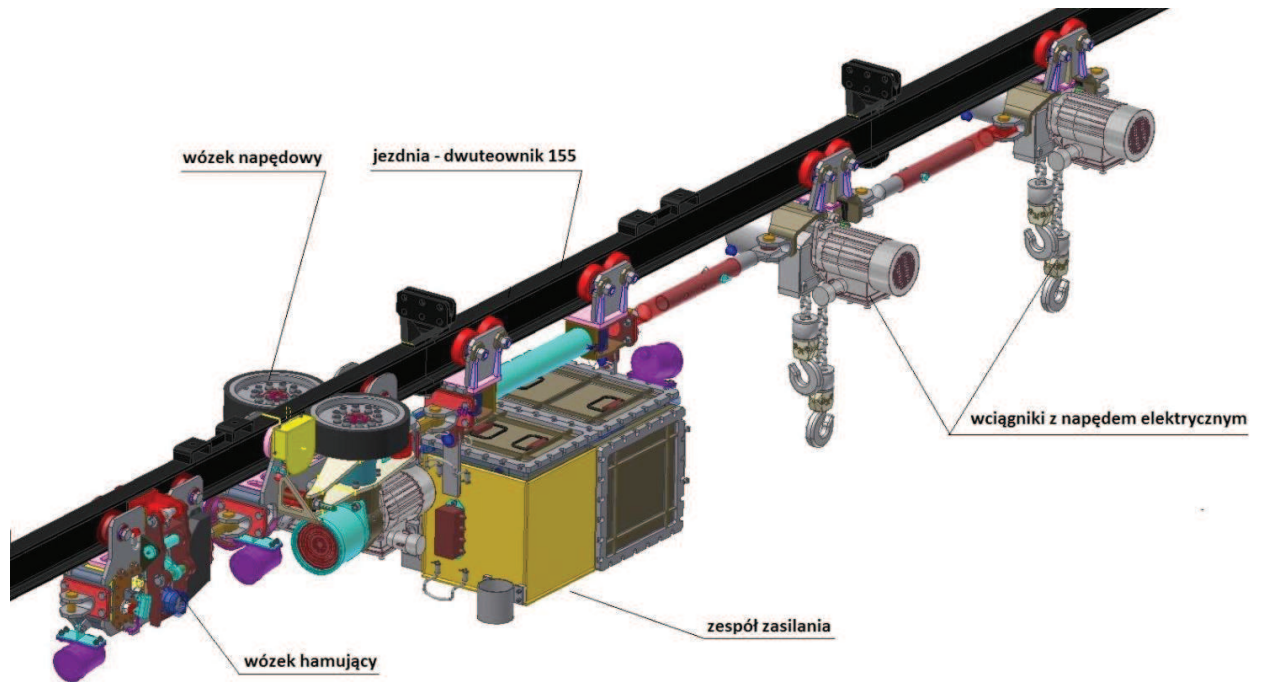
W tym przypadku silniki napędowe zasilane są z baterii umieszczonych w module zasilającym. Bateria akumulatorów składa się z ogniw litowych (LiFePO₄), o dużej pojemności. Umożliwiają one ładowanie bez emisji gazów niebezpiecznych (powszechnie stosowane ogniwa kwasowo-ołowiowe w trakcie ładowania wydzielają wodór) [5, 2]. Zastosowanie takiego źródła energii pozwala na ładowanie w dowolnym miejscu. Urządzenie przewidziane jest do prac manewrowych (załadowcze, wyładowcze), prowadzonych w wyrobiskach zagrożonych atmosferą wybuchową, jest dedykowany w szczególności do prac transportowych prowadzonych w zakładach górniczych w obrębie przodków korytarzowych, zajezdni oraz warsztatów naprawczych. Ciągnik PCA-1 oferowany jest w dwóch podstawowych wersjach:

- PCA-1 - współpracuje tylko z belką transportową wyposażoną w wciągniki ręczne,
- PCA-1/ZT - może współpracować z belką transportową z zabudowanymi wciągnikami elektrycznymi.

W przypadku zastosowania wciągników elektrycznych, ciągnik może obsługiwać maksymalnie dwa wciągniki połączone elektrycznie z modulem zasilania.

Do przemieszczania się ciągnika PCA-1 po podwieszanej jezdni jednoszynowej służy wózek napędowy, który posiada dwa zespoły napędu ciernego, z zabudowanymi silnikami elektrycznymi. Podstawowe zalety ciągnika to:

- zasilanie akumulatorowe nieograniczające zasięgu urządzenia,
- możliwość doładowywania baterii w miejscu pracy poprzez złącze ognioszczelne,
- płynna regulacja prędkości poprzez przekształtnik elektroenergetyczny,
- odzysk energii w procesie hamowania,
- brak negatywnego oddziaływania na środowisko pracy,
- możliwość obsługi wciągników elektrycznych,
- elastyczność kompletacji urządzenia.

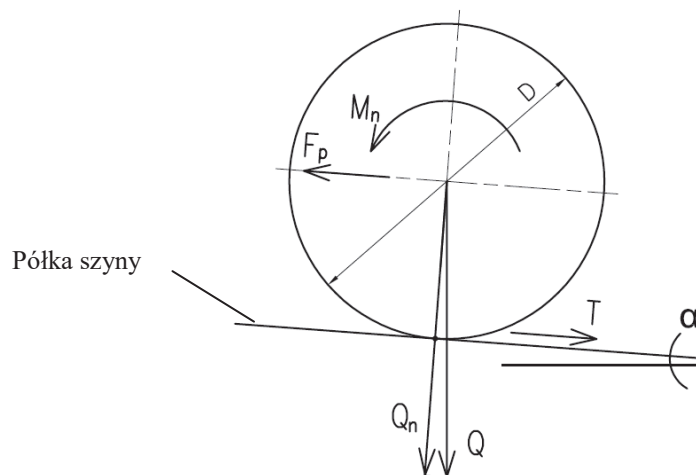


Rys. 6. Podwieszony ciągnik akumulatorowy PCA-1 firmy HELLFEIER [6]

3. Sposoby przeniesienia napędu stosowane w ciągnikach manewrowych

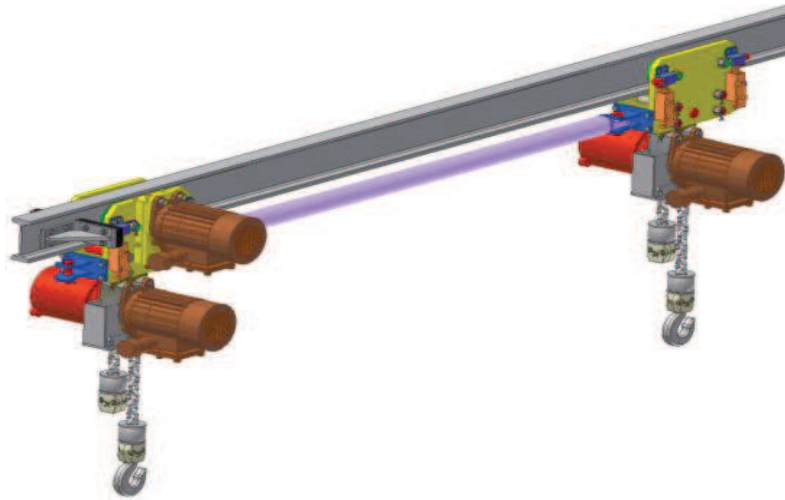
Siła pociągowa ciągnika manewrowego uzyskiwana jest poprzez sprzężenie koła napędowego z szyną jezdnią.

Na rysunku 7 przedstawiono rozwiązanie, w którym koło napędowe współpracuje z dolną półką szyny trasy podwieszonej. W celu wygenerowania momentu obrotowego M_n wprawiającego ciągnik w ruch, między kołem a półką szyny powinna być odpowiednia siła tarcia T . Jest ona wynikiem działania siły docisku Q_n oraz tarcia pomiędzy kołem a szyną. Takie rozwiązanie napędu jest wrażliwe na nachylenie trasy jezdnej, ponieważ wraz ze wzrostem jej nachylenia maleje docisk koła do półki szyny.



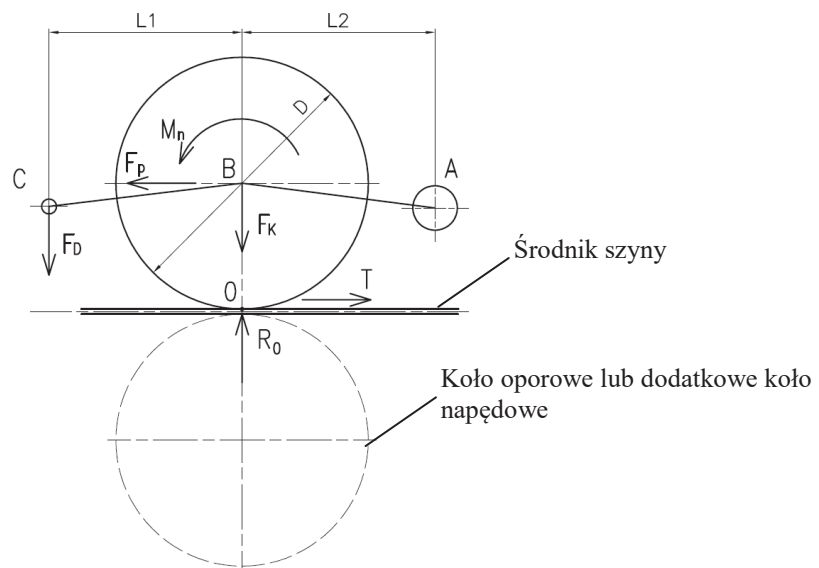
Rys. 7. Współpraca koła napędowego z półką szyny [opracowanie własne]

Przy tego rodzaju napędzie brak jest możliwości regulowania siły docisku koła do bieżni w celu zwiększenia siły pociągowej, w związku z tym ich zastosowanie ogranicza się do wyrobisk poziomych. Przykładem takiego rozwiązania jest zespół wciągników przejezdnych EWS 3+3ne (rys. 8) [2].

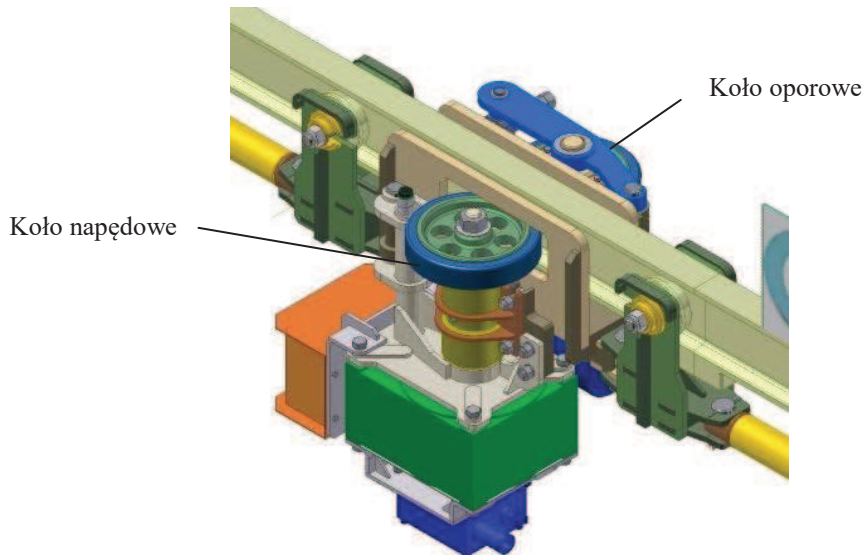


Rys. 8. Wciągnik przejezdny EWS 3+3ne firmy OMAG [1]

W większości ciągników manewrowych dostępnych na rynku siła pociągowa osiągnięta jest poprzez sprzężenie cienne koła napędowego ze średnikiem szyny jezdnej przy wymuszonym docisku koła do średnika (rys. 9). W celu zapewnienia odpowiedniej siły sprzężenia ciennego, koło musi być dociśnięte do średnika szyny z siłą F_K pozwalającą na powstanie siły tarcia T , która równoważyć będzie siłę pociągową F_P . Siła docisku koła F_K musi być zrównoważona reakcją R_O . W praktyce jest to realizowane poprzez wprowadzenie po przeciwnej stronie średnika koła oporowego (jak na przykładzie pokazanym na rysunku 10) lub dodatkowego koła napędowego (rys. 9). Zaletą zastosowania dodatkowego koła napędowego jest zwiększenie siły pociągowej ciągnika przy niezmiętej sile docisku F_K . W wielu rozwiązaniach siła docisku kół F_K nie jest bezpośrednio wywierana w osi koła napędowych, ale jest wynikiem działania siły F_D działającej na odpowiednim ramieniu dźwigni.

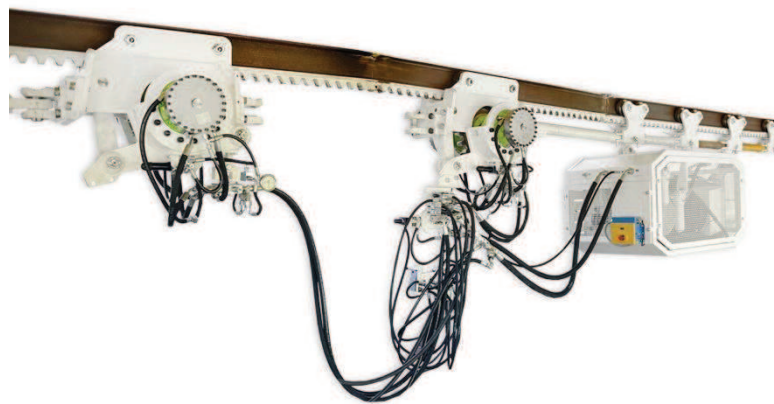


Rys. 9. Współpraca koła napędowego ze średnikiem szyny [źródło własne]



Rys. 10. Przykład ciągnika z kołem oporowym - ECM-LEMUR firmy SIGMA [9]

Wykorzystanie połączenia kształtowego do generowania siły pociągowej jest, w porównaniu z opisanymi powyżej, rozwiązaniem pozwalającym generować największe siły pociągowe, a jego funkcjonalność jest w mniejszym stopniu zależna od nachylenia trasy. Wadą jest konieczność uzbrojenia trasy w specjalną zębatkę, z którą współpracuje koło kształtowe. Rozwiązanie to jest dedykowane do prac transportowych w przodkach, które prowadzone są w wyrobiskach nachylonych. Przykład ciągnika manewrowego z napędem zębatym pokazano na rysunku 11.



Rys. 11. Ciągnik manewrowy z napędem zębatym firmy FAMUR [11]

4. Podsumowanie

Zastosowanie ciągników manewrowych wpływa na poprawę warunków pracy, eliminując czynności transportowe wykonywane ręcznie. Wpływa również na zwiększenie efektywności wykorzystania podstawowych maszyn transportowych, takich jak kolejki podwieszane, które nie muszą być angażowane do prac manewrowych a jedynie do transportu dalekiego. Na rynku dostępnych jest wiele różnych rozwiązań ciągników manewrowych poruszających się po podwieszanej trasie jednoszynowej. Wybór odpowiedniego rozwiązania uzależniony jest między innymi od długości trasy, jej nachylenia, maksymalnych mas transportowanych, miejsca pracy i ceny rozwiązania. Rozwiązaniami najkorzystniejszymi pod względem

kosztowym są rozwiązania z zasilaniem przewodowym. Z kolei rozwiązaniami o największej sile pociągowej są ciągniki spalinowe. Ciągniki z zasilaniem baterijnym stanowią obecnie najmniej liczną grupę ciągników manewrowych, pomimo, że cechuje je większa sprawność układu napędowego w porównaniu do urządzeń z napędem spalinowym oraz brak negatywnego oddziaływania na środowisko.

Literatura:

- [1] Bałaga D., Budzyński Z., Kalita M., Prostański D.: Nowe elektryczne wciągniki łańcuchowe konstrukcji CMG KOMAG. *Maszyny Górnicze* 2007 nr 4, s. 36-43
- [2] Budzyński Z., Drwięga A., Kaczmarczyk K., Pieczora E.: Innowacyjne rozwiązania górniczych urządzeń transportowych z napędem akumulatorowym. *Maszyny Górnicze* 2012 nr 1, s. 19-25
- [3] Dąbek P., Deja P., Kalita M.: Typoszereg wciągników łańcuchowych efektem współpracy Instytutu Techniki Górniczej KOMAG z Fabryką Maszyn i Urządzeń OMAG Sp. z o.o. W: *Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność. KOMTECH 2014*. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2014, s. 113-124
- [4] Kaczmarczyk K. [red.]: Podwieszony zestaw transportowy do odstawy urobku. ITG KOMAG Gliwice 2014 (materiały niepublikowane)
- [5] Kaczmarczyk K. [red.]: Podwieszony ciągnik manewrowy z zasilaniem przewodowym. ITG KOMAG, Gliwice 2014 (materiały niepublikowane)
- [6] Konsek R., Kaczmarczyk K., Budzyński Z., Polnik B.: Podwieszony ciągnik akumulatorowy PCA-1. *Napędy Sterowanie* 2013 nr 7-8, s. 112-115
- [7] Suffner H.: Chłodzenie spalin w górniczych napędach spalinowych dla kopalń węgla kamiennego. *Maszyny Górnicze* 2018 nr 3, s. 67-80
- [8] <http://ferrit.cz> (24.08.2018)
- [9] <http://www.sigmasa.pl> (24.08.2018)
- [10] www.gornictwo.dremex.com.pl (24.08.2018)
- [11] www.famur.com (24.08.2018)
- [12] www.wug.gov.pl (28.08.2018)

Czy wiesz, że

...odejście od węgla do 2050 r. będzie nieco droższe niż brak dekarbonizacji, jednak dzięki temu uzyskamy korzyść w postaci znacząco niższej emisji dwutlenku węgla – oszacowali ekonomiści z Instytutu Badań Strukturalnych (IBS). Przekonują, że spadek udziału węgla w polskim miksie wytwarzania energii elektrycznej jest nieunikniony. Przy wyborze najtańszego rozwiązania, które nie uwzględnia redukcji emisji dwutlenku węgla, udział ten zmniejszy się o 75% (z obecnych 85%) w 2030 r. i do 33% w 2050 r. W ambitnym scenariuszu odejścia od węgla, łączne koszty wytworzenia energii będą o 15% wyższe niż przy braku dekarbonizacji, z uwagi na wyższe nakłady inwestycyjne.

Rzeczpospolita 29 listopada 2018 s. A17