

Stefan Gierlotka

Stowarzyszenie Elektryków Polskich, Oddział Zagłębia Węglowego, Katowice

ROZWÓJ NAPĘDU ELEKTRYCZNEGO GÓRNICZYCH MASZYN WYCIĄGOWYCH

THE EVOLUTION OF ELECTRIC DRIVES OF WINDERS USED IN COAL MINES

Streszczenie: W artykule opisano rozwój napędów maszyn wyciągowych od początku ich powstania, do czasów współczesnych. Uwzględniono w sposób szczególny rozwój napędu elektrycznego maszyn wyciągowych w kopalniach na terenie Polski. Przedstawiono najnowsze osiągnięcia i tendencje w konstrukcji napędu elektrycznego maszyn wyciągowych.

Abstract: The evolution of winder's drives from the beginning of its use to nowadays was described in the article. Especially the development of electric drive of hoisting devices in coal mines in Poland was analyzed. The paper presents the state-of-art modernisation and important development directions for electric drive mechanisms of winding machines.

Słowa kluczowe: maszyny elektryczne, maszyny wyciągowe, elektryfikacja górnictwa

Keywords: electrical machines, hoisting machine, electrification of mining

1. Wprowadzenie

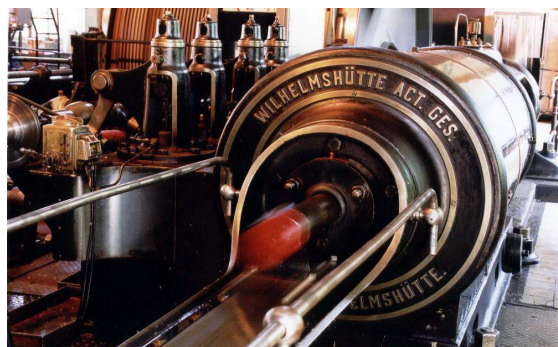
Górnik dawniej wydobywał minerały i węgiel z płytkich szybów za pomocą kubła i konopnej liny. Później zastosował prymitywną maszynę wyciągową - wał drewniany z korbą, na który nawijała się lina. Gdy wielkość kopalni wzrosła tak, iż wyrobiska pionowe zastąpiono poziomymi, odległymi od szybu o kilka kilometrów zaprzęgnięto wtedy do pracy konie, parę, a wreszcie elektryczność.

2. Napędy maszyn wyciągowych poprzedzające elektryczność

Wydobycie węgla od początku XIX wieku rosło tak szybko, że wcześniej stosowane ręczne kołowroty zdecydowano zastąpić kieratem konnym. Kieratem z głębokości 35 metrów można było wyciągnąć na powierzchnię 44 ton węgla w ciągu 12 godzin. Proces stopniowej mechanizacji górnictwa rozpoczął się w 1784 roku, kiedy to zainstalowano pierwszą maszynę parową dla odwadniania kopalni Friedrichgrube w rejonie Tarnowskich Gór.

Na Śląsku pierwszą parową maszynę wyciągową uruchomiono w 1814 roku, w kop. Król w Chorzowie. Maszyną z głębokości 40 metrów wyciągano urobek 106 ton węgla na dobę. W 1852 roku, w 78 kopalniach na Śląsku pracowało 26 parowych maszyn wyciągowych. Budowę maszyn parowych motywował fakt, że

każda kopalnia posiadała własną kotłownię i był łatwy dostęp do pary.



Fot. 1. Parowa maszyna wyciągowa kopalni Rydułtowy szyb Głowacki

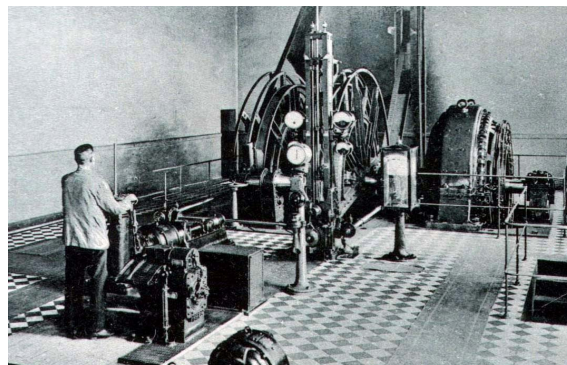
Konstrukcja maszyn parowych ulegała szybkim udoskonaleniom. W roku 1874 zastosowano ogranicznik prędkości Jamesa Watta. Zastosowanie koła zamachowego umożliwiło uzyskanie równomiernego ruchu maszyn i łatwe przechodzenie tłoka przez punkty martwe. Mechaniczne krzywki zwalniające zostały wprowadzone, aby wymusić zmniejszenie prędkości pod koniec cyklu ciągnięcia. Epoka budowy maszyn parowych kończy się w pierwszej połowie XX w, a zaczyna się epoka maszyn elektrycznych. Ostatnią zbudowaną parową maszynę wyciągową uruchomiono w 1942 roku, w kopalni węgla „Bielszowice” w Rudzie Śląskiej. Była to maszyna wyciągowa z silnikiem prądu

stałego pracująca z kołem Ilgnera. Parowe maszyny wyciągowe przedstawiały szczególną wartość historyczną.

3. Pierwsze maszyny wyciągowe o napędzie elektrycznym

Pierwszą maszynę wyciągową z silnikiem elektrycznym zbudowano w 1894 roku, w kopalni Thiederhall, w Brunshwiku. Do napędu urządzenia wyciągowego w szybiku o głębokości 200 m zastosowano dwa silniki bocznikowe prądu stałego o napięciu 500 V. Sterowanie odbywało się za pomocą nastawnika rezystorowego. Silniki przełączano elektrycznie w układ szeregowy lub równoległy. Prędkość ciągnięcia przy połączeniu równoległym wynosiła około 7 m/s, a przy połączeniu szeregowym 3,5 m/s. W maszynie zastosowany był już regulator jazdy, którego program jazdy był kontrolowany krzywkami osadzonymi na obrotowej tarczy. Celem złagodzenia wahań napięcia i obciążeń sieci zastosowano baterię akumulatorów, jako baterię wyrównawczą. Energia zgromadzona w akumulatorach pozwalała na dokończenie jazdy, w przypadku uszkodzenia prądnicy kopalnianej. W 1903 roku w Gelsenkirchen na szybie Zollern zainstalowano maszynę wyciągową z dwoma silnikami o mocy 1040 kW. Sterowanie silników odbywało się za pomocą opornicy w obwodzie tworników. Silniki prądu stałego pracowały nadal z wyrównawczą baterią akumulatorów. W 1891 roku Harry Ward-Leonard (1861–1915) uzyskał patent na nowy sposób regulacji obrotów silnika prądu stałego przez regulację obcego wzbudzenia prądnicy zasilającej silnik roboczy. Od tego momentu wszystkie napędy elektryczne maszyn wyciągowych modernizowano i budowano w układzie Leonarda. W roku 1901 urodzony w Nysie Karl Ilgner (1862–1921) opatentował zastosowanie koła zamachowego do przetwornicy Leonarda. Układ Leonarda-Ilgnera z kołem zamachowym miał szereg zalet w porównaniu do układu z akumulatorową baterią wyrównawczą. Pierwsze zastosowanie przetwornicy w układzie Leonarda z kołem zamachowym o ciężarze 42 tony było na szybie Zollern kopalni w Gelsenkirchen. Maszynę wyciągową wyposażono w jeden z pierwszych regulatorów jazdy zainstalowanych na wskaźniku głębokości. Pierwszą elektryczną maszynę wyciągową na Śląsku uruchomiono w 1902 roku w kopalni „Concordia” w Zabrze. Była to maszyna wy-

ciągowa z silnikiem prądu stałego pracująca z kołem Ilgnera.

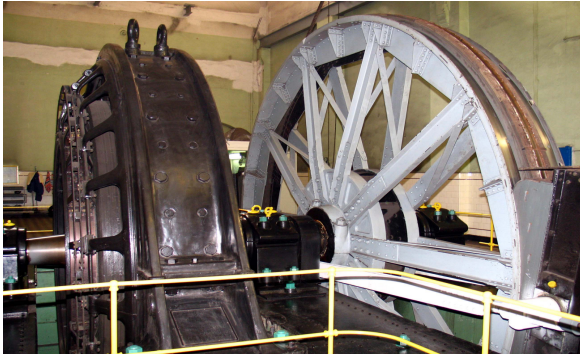


Fot. 2. Maszyna wyciągowa kopalni Mysłowice

Do roku 1912 na Górnym Śląsku czynne były 32 maszyny wyciągowe elektryczne pracujące w układzie Ward-Leonard. Elektryczne maszyny wyciągowe w początkach XX wieku wykonywane były przez duże koncerny elektrotechniczne jak Siemens, AEG, BBC, Alstom oraz ASEA.

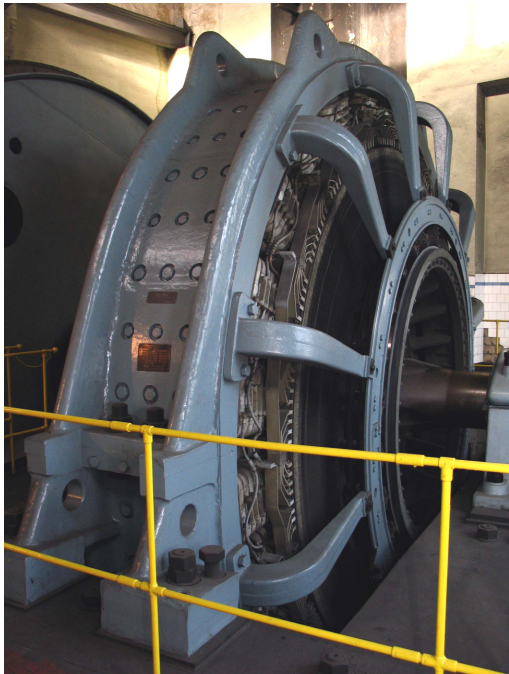
W kopalni „Wujek” na szybie „Krakus” od 1912 roku pracuje nadal elektryczna maszyna wyciągowa o mocy 1020 kW w układzie Leonarda - bez amplidyny. Zestaw maszynowy przetwornicy pracował z kołem zamachowym Ilgnera o masie 25 ton. Energia bezwładności wirujących mas pozwalała wykonać jeden pełny wyciąg przy wyłączonym napięciu zasilania przetwornicy. Silnik wykonany na podstawie dokumentacji firmy „AEG” z 1908 roku nie posiada dodatkowych uzwojeń kompensacyjnych. Jako izolację w uzwojeniach zastosowano obwój bawełny impregnowany smołą. Nastawnik regulatora posiada styki w izolacji marmurowej. Koła zamachowe stosowane w przetwornicach kopalnianych zostały decyzją Urzędu Górniczego rozsprzęglone po wypadku rozerwania koła zamachowego w 1965 roku w hucie „Dzierżyński”.

Rozwój napędu maszyn wyciągowych w układzie Leonarda nastąpił po zastosowaniu wzmacniaczy maszynowych i magnetycznych, dla układów regulacji i automatyki. W latach trzydziestych ubiegłego wieku nastąpił rozwój elektromaszynowych elementów automatyki, przede wszystkim łączy selsynowych oraz tachometrów, które zastosowano w maszynach wyciągowych. Dalszy rozwój napędów elektrycznych wiązał się z próbami zastosowania w układzie Leonarda prostowników rtęciowych, w miejsce zespołu przetwornicy.



Fot. 3. Maszyna wyciągowa firmy AEG z 1912r. kop. Wujek szyb Krakus

Pierwsze realizacje tych rozwiązań wprowadzono w 1936 roku. Napęd elektryczny z prostownikami rtęciowymi nie rozpowszechnił się głównie z powodu znacznych spadków napięć oraz wielkich wymiarów zespołów prostownikowych. W latach czterdziestych i pięćdziesiątych powstały rozwiązania w pełni zautomatyzowane, umożliwiające coraz dokładniejsze odwzorowanie prędkości ruchu. Pozwoliło to budować maszyny wyciągowe w pełni zautomatyzowane, w których rola maszynisty podczas ciągnięcia urobku sprowadziła się do nadzoru prawidłowości funkcjonowania.



Fot. 4. Silnik maszyny wyciągowej w układzie Leonarda kop. Wujek

4. Krajowe wykonania maszyn wyciągowych z napędem elektrycznym

Okres powojenny, po 1945 roku charakteryzował się dużą aktywnością wydobywania węgla

i zapotrzebowaniem na wydajne maszyny wyciągowe. Potrzeby w zakresie maszyn wyciągowych do roku 1954 zaspokajano z importu. W latach 1950 – 1960 korzystano z dostaw czeskich maszyn wyciągowych firmy ČKD, jak też w mniejszym zakresie firmy Skoda. Pierwsze krajowe wykonania maszyn wyciągowych z napędem elektrycznym powstały w 1955 r.



Fot. 5. Maszyna wyciągowa kop. Rydułtowy szyb Leon

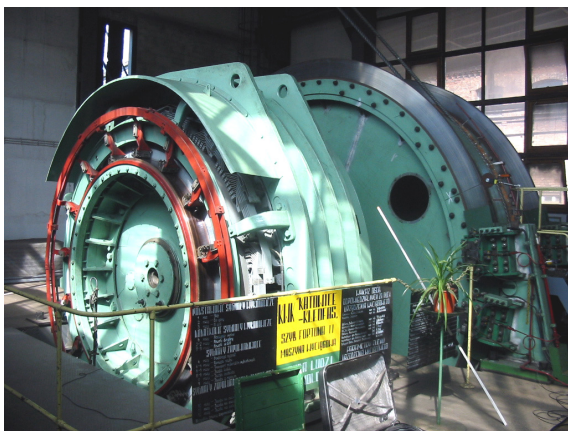
W 1952 roku utworzono Zakład Maszyn Wyciągowych przy ZKMPW w Gliwicach, który opracowywał dokumentację mechaniczną i elektryczną maszyn wyciągowych oraz systemy sterowania. Wykonawcami maszyn wyciągowych były Zakłady Urządzeń Technicznych Zgoda w Świętochłowicach oraz Rybnicka Fabryka Maszyn. W zakresie maszyn elektrycznych producentem silników był Zakład M-5 we Wrocławiu przemieniony na DOLMEL. Montaż układu elektrycznego maszyn w kopalniach wykonywało Przedsiębiorstwo Montażu Urządzeń Elektrycznych PMUE w Katowicach. Do roku 1961 wybudowano w Polsce 120 elektrycznych maszyn wyciągowych.



Fot. 6. Maszyna wyciągowa kop. Mysłowice

W ramach rozwoju napędu elektrycznego maszyn wyciągowych pracujących w układzie Leonarda prowadzono unowocześnianie ich układów regulacji i sterowania. Pierwsze prace nad konstrukcjami maszyn wyciągowych z napędem tyrystorowym powstały w początkach lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Były to napędy z silnikami prądu stałego, co umożliwiło modernizację istniejących maszyn wyciągowych pracujących w układzie Leonarda.

Pierwszą w kraju maszyną wyciągową z napędem tyrystorowym opracowała w 1971 roku firma ASEA przy współpracy ZUT– Zgoda dla szybu kopalni „Lenin” w Mysłowicach –Wesołej. Pierwszą polską konstrukcją maszyny wyciągowej z silnikiem prądu stałego, zasilanym prostownikiem tyrystorowym uruchomiono w 1974 roku w KWK Staszic. Obwód wzbudzenia silnika był zasilany z nawrotnego prostownika w układzie krzyżowym o 6-pulsowym działaniu. Rewers momentu napędowego otrzymywano dzięki zmianie biegunowości prądu wzbudzenia silnika. Opracowany napęd maszyny wyciągowej posiadał szeroki zakres regulacji prędkości i pracował zarówno silnikowo, jak i generatorowo.



Fot. 7. Maszyna wyciągowa kop. Kleofas szymb Fortuna

W końcu lat siedemdziesiątych XX wieku prowadzono intensywne prace nad krajowym układem tyrystorowym typu JANTAR przy współpracy Biura Projektów Górniczych – Gliwice, Elta - Łódź, AGH – Kraków oraz Przedsiębiorstwa Montażu Urządzeń Elektrycznych w Katowicach. Tyrystorowe napędy w układzie Leonarda wykorzystują w miejsce amplidyn, energoelektroniczne przekształtniki, pozwalające na szeroką regulację napięcia prądnicy sterującej oraz wzbudzenia silnika wyciągowego. Takie rozwiązanie było najczęściej stosowane

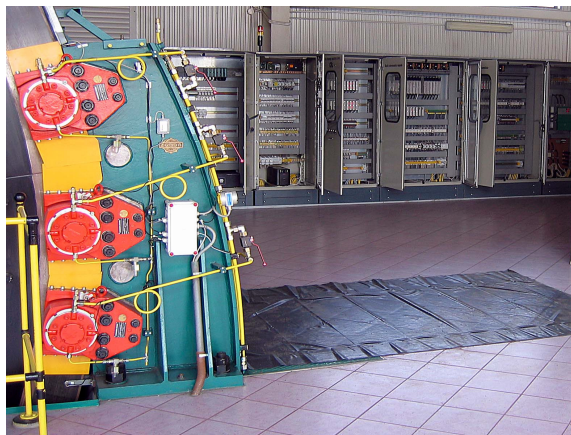
przy modernizacji maszyn wyciągowych, przy pozostawieniu istniejących maszyn elektrycznych w układzie Leonarda. Pierwsze polskie zastosowanie miało miejsce w KWK Cieczott w 1983 roku, gdzie zmodernizowano maszynę, przeznaczoną do ciągnięcia urobku o ciężarze 10 ton. Do zasilania obwodu wzbudzenia prądnicy sterującej zastosowano rewersyjną wzbudnicę tyrystorową, natomiast do zasilania obwodów wzbudzenia silnika wyciągowego i silnika synchronicznego, napędzającego prądnicę sterującą, wzbudnice tyrystorowe, z podzespołami regulacji wg katalogu JANTAR 2.

Dalszy postęp w modernizacji napędu maszyn wyciągowych polegał na stosowaniu silników prądu zmiennego ze sterowaniem cyklokonwertorowym. Silniki asynchroniczne w napędach maszyn wyciągowych były zasilane napięciem 6kV, podczas gdy napięcia wyjściowe cyklokonwertorów były na poziomie 2 kV. W celu uzyskania właściwych parametrów pracy konieczne było obniżenie częstotliwości do wartości ok. 15 Hz.



Fot. 8. Maszyna wyciągowa kop. Budryk szymb VI

Silnik synchroniczny z częstotliwościową regulacją prędkości w maszynie wyciągowej po raz pierwszy zastosowano w Niemczech, w 1981 roku w kopalni Neu Monopol dla szymbów Grimberg oraz Westfalia. Silniki o mocach 4220 kW oraz 2650 kW wykonano dla częstotliwości znamionowej 10 Hz. W latach następnych tego rodzaju instalacje realizowane były przez firmę AEG w kopalni Niederberg oraz przez firmę ABB w 1985 roku w kopalni Ensdorf.



Fot. 9. Szafa sterownicza tyrystorowej maszyny wyciągowej

W Polsce od 1986 roku prowadzono prace nad napędem cyklokonwertorowym z przeznaczeniem dla KWK Wieczerek we współpracy z Zakładami ELTA w Łodzi, DOLMEL we Wrocławiu i AGH w Krakowie. W 1992 roku uruchomiono napęd cyklokonwertorowy z silnikiem synchronicznym o mocy 900 kW na szybie Giszowiec w kopalni Wieczerek. Silnik posiadał 32 bieguny i pracował przy częstotliwości 12,3 Hz, z prędkością 45,8 obr./min. Kolejne rozwiązanie ze sterowaniem częstotliwościowym powstało w 1994 roku w kopalni „Jankowice”. Istniejąca maszyna dwubębnowa napędzana indukcyjnym silnikiem pierścieniowym o mocy 850 kW została zasilona cyklokonwertorem o częstotliwości wyjściowej 12,5Hz.

Innym rodzajem silnika synchronicznego wykonywanym dla maszyn wyciągowych jest tzw. silnik zintegrowany, będący jednocześnie silnikiem i kołem pędnym. Pierwszy taki silnik opracowała firma Siemens w 1988 roku dla szybu Romberg w kopalni Haus Aden w Niemczech. Na obrotowej obudowie silnika o mocy 2200 kW zabudowano cztery linowe koła pędne. Silnik został zasilony bezpośrednio z cyklokonwertora o częstotliwości 14,1 Hz, co dawało 105,75 obr./min. Uzwojony wał silnika stanowił część nieruchomą.



Fot. 10. Stanowisko maszynisty wyciągowego w nowoczesnych maszynach wyciągowych

Wirnikiem była zewnętrzna uzwojona część silnika, na którego korpusie zbudowano koło pędne dla lin nośnych wyciągu. To rozwiązanie konstrukcyjne stanowi obecnie najnowocześniejszą konstrukcję napędu maszyn wyciągowych. We współczesnych maszynach wyciągowych wykorzystuje się coraz powszechniej technikę mikroprocesorową i osiągnięcia informatyki. Układ maszyny wyciągowej przeobraża się z układu automatycznego na układ robotyczny.

5. Literatura

- [1]. C. Fritzsche: Lehrbuch der Bergbaukunde. Erste Band. Berlin / Heidelberg 1961.
- [2]. S. Gierlotka: 100 lat stosowania elektrycznych maszyn wyciągowych w śląskich kopalniach. Przegląd Górniczy 2004 nr 6.
- [3]. S. Gierlotka: Historia górnictwa. Wydawnictwo Naukowe Śląsk. Katowice 2009.
- [4]. S. Gierlotka: Elektryfikacja górnictwa. Zarys historyczny. Wydawnictwo Naukowe Śląsk – Katowice 2016.
- [5]. E. Kosonocki, J. Manitus, L. Szklarski, W. Sztwiertnia: Napędy elektryczne maszyn wyciągowych. PWN - 1957.
- [6]. J. Obrąpalski.: Elektryczne maszyny wyciągowe. PWT Stalinogród 1954.
- [7]. L. Szklarski, J. Zarudzki: Elektryczne maszyny wyciągowe. PWN 1998r.