

Stefan GIERLOTKA *

ROZWÓJ MASZYN WYCIĄGOWYCH W KOPALNIACH OD PARY PO ELEKTRYCZNOŚĆ

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.

1. Wprowadzenie

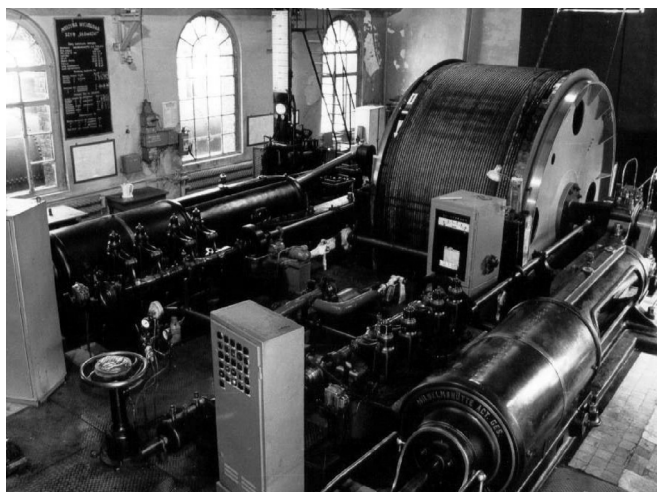
Pierwotny górnik wydobywał minerały i węgiel z płytkich szybów za pomocą kubła i konopnej liny. Później stosowano prymitywną maszynę wyciągową – wał drewniany z korba, na który nawijała się lina. Gdy wielkość kopalni wzrosła tak, iż wyrobiska pionowe zastąpiono podziemnymi wyrobiskami poziomymi, odległymi od szybu nie-raz o kilka kilometrów, zaprzęgnięto wtedy do pracy konie, parę, a wreszcie elektryczność.

Zwiększenie wydobycia węgla kamiennego jako paliwa dla rozwijającego się hutnictwa oraz rozpowszechniających się silników parowych nastąpił po 1763 roku. Produkcja światowa węgla w 1800 roku wynosiła 11,6 mln ton, a w 1900 roku wydobywano 707 mln ton. W początkach XIX wieku wydobycie węgla rosło tak szybko, że wcześniej stosowane ręczne kołowroty zdecydowano zastąpić kieratem konnym. Do wyciągnięcia 26 ton węgla kamiennego szybem o głębokości 40 m, w czasie 12 godzinnej dniówki wystarczał kierat obsługiwany przez jednego konia. Kieratem dwukonnym wydobywano w ciągu 12 godzin z głębokości 35 metrów na powierzchnię 44 tony węgla. Napędu kieratowego zaniechano w kopalniach Górnego Śląska z końcem XIX wieku. Proces stopniowej mechanizacji śląskiego górnictwa rozpoczął się już w 1784 roku, kiedy to w kopalni tarnogórskiej pojawiła pierwsza maszyna parowa.

* Urząd Miasta Katowice, 40-098 Katowice, ul. Młyńska 4; Kopalnia Węgla Kamiennego Wujek, 40-596 Katowice, ul. Wincentego Pola 65.

2. Parowe maszyny wyciągowe

Początki zastosowań maszyn parowych w Polsce wiąże się z obszarem Górnego Śląska. W 1788 roku zainstalowano pierwszą maszynę parową dla odwadniania kopalni „Friedrichgrube” w rejonie Tarnowskich Gór. Maszynę wykonał mistrz budowy maszyn parowych Samuel Honfray w Anglii. Transportowano ją drogą morską z Anglii do Szczecina, a dalej rzeką Odrą na łodziach do Opola. Od Opola transport odbywał się końmi. Przewóz maszyny trwał dwa miesiące. Po dziesięciu latach pracy w kopalni „Friedrichgrube” maszynę przeniesiono na inną kopalnię, gdzie pracowała aż do czasu jej likwidacji w 1857 roku. W górnictwie rudnym w rejonie Tarnowskich Gór, w końcu XVIII wieku dla odwadniania wyrobisk pracowało kilka maszyn parowych różnego rodzaju. Pierwsze maszyny parowe sterowane były wentylami, a dopiero od 1799 roku zastosowano sterownik suwakowy.



Rys. 1. Parowa maszyna wyciągowa, kopalnia „Rydułtowy”, szyb „Głowacki”

Fig. 1. Steam winder „Rydułtowy” coal mine, Głowacki shaft

Budowę pierwszych parowych maszyn wyciągowych w kopalniach na terenie Polski rozpoczęto w początkach XIX wieku. Pierwszą parową maszynę wyciągową uruchomiono w 1814 roku w kopalni „Król” w Chorzowie, wyciągała ona 107 ton węgla na dobę z głębokości 40 metrów. W 1826 roku w 52 kopalniach Górnego Śląska stosowano 3 maszyny parowe wyciągowe i 6 do odwadniania wyrobisk. W 1852 roku w 78 kopalniach pracowało 26 parowych maszyn wyciągowych i 38 odwadniających.

Pierwsze maszyny parowe miały stanowisko maszynisty usytuowane z boku, np. w maszynie wyciągowej z 1884 r. na szybie „Józef” kopalni „Matylda” w Świętochłowicach.

Pod koniec pierwszej połowy XIX wieku w wielu kopalniach górnośląskich przystąpiono do eksploatacji głębszych części złóż. W 1896 roku spośród 293 szybów aż 220 miało głębokość poniżej 200 m, a 4 przekraczały głębokość 400 m. W 1911 roku najgłębszy szyb osiągnął 774 metry.

Konstrukcja maszyny parowej uległa szybkim i licznym technicznym udoskonaleniom. Zastosowanie koła zamachowego umożliwiło równomierny ruch maszyny i łatwe przechodzenie tłoka przez punkty martwe. Zaczęto budować maszyny usytuowane poziomo. W tych rozwiązaniach koło zamachowe było elementem szczególnie ważnym.

W pierwszej połowie XX w. kończy się epoka budowy maszyn parowych, a zaczyna się epoka maszyn elektrycznych. Ostatnią zbudowaną parową maszyną wyciągową uruchomiono w 1942 roku w szybie wydobywczym kopalni węgla „Bielszowice” w Rudzie Śląskiej. W 1977 r. w polskich kopalniach węgla kamiennego czynnych było jeszcze 31 parowych maszyn wyciągowych, a w 1986 r. tylko 14. Parowe maszyny wyciągowe przedstawiały szczególną wartość historyczną.

3. Maszyny wyciągowe o napędzie elektrycznym

Postęp techniczny w dziedzinie elektrotechniki, który dokonał się na przełomie XIX i XX wieku doprowadził do skonstruowania silników elektrycznych dużej mocy, odpowiadających wymaganiom maszyn wyciągowych. Napędy z silnikami elektrycznymi okazały się o wiele lepsze i sprawniejsze od stosowanego dotychczas napędu parowego. Mimo to napędy elektryczne maszyn wyciągowych nie mogły skutecznie konkurować z parowymi maszynami wyciągowymi. Kopalnie posiadały własne kotłownie i wytwarzanie pary dla maszyn parowych nie stwarzało trudności. Konkurencja przedsiębiorstw produkujących maszyny parowe utrudniała rozwój firmom elektrycznym. W tych warunkach rozwój elektrycznych maszyn wyciągowych był bardzo spowolniony.

Pierwszą maszyną wyciągową z napędem elektrycznym zainstalowano w kopalni „Thiederhall” w Brunszwiku w 1894 roku. Do napędu urządzenia wyciągowego w szybie o głębokości 200 m zastosowano dwa silniki bocznikowe prądu stałego. Silniki zasilane napięciem 500 V sterowane były nastawnikiem rezystorowym. Praca silników odbywała się w szeregowym lub równoległym układzie połączeń. Prędkość ciągnięcia przy połączeniu równoległym wynosiła do 7 m/s, a przy połączeniu szeregowym 3,5 m/s. Pierwszą prędkość stosowano przy ciągnięciu urobku, drugą przy jeździe ludzi. Dla złagodzenia wahań napięcia i wyrównania obciążeń sieci zastosowano baterię akumulatorów. Zgromadzona w akumulatorach energia pozwalała na dokończenie rozpoczętej jazdy w przypadku awarii zasilającego systemu elektroenergetycznego. Zastosowano już wtedy regulator jazdy, którego program był kontrolowany przez układ krzywek zabudowanych na obrotowej tarczy.

W kopalni „Gelsenkirchen” zainstalowano w 1901 roku elektryczną maszynę wyciągową o dwóch silnikach o mocy 1040 kW. Sterowanie silników odbywało się za pomocą opornicy w obwodzie tworników. Ze względu na znaczne wymiary nastawnika był on sterowany za pomocą serwomotoru. Silniki prądu stałego pracowały nadal z wyrównawczą baterią akumulatorów.

W roku 1891 Ward–Leonard uzyskał patent na nowy sposób regulacji obrotów silnika prądu stałego przez regulację obcego wzbudzenia prądnicę zasilającej silnik roboczy. Od tego momentu wszystkie napędy elektryczne maszyn wyciągowych modernizowano i budowano na układzie Leonarda. W roku 1901 Ilgner opatentował zastosowanie koła zamachowego do przetwornicy Leonarda. Układ Leonarda–Ilgnera z kołem zamachowym miał szereg zalet w porównaniu do układu z baterią wyrównawczą, wobec czego w maszynie wyciągowej kopalni w Gelsenkirchen zabudowano przetwornicę układu Leonarda z kołem zamachowym. Ciężar koła zamachowego wynosił 42 tony. Maszynę wyciągową wyposażono w jeden z pierwszych regulatorów jazdy zainstalowanych na wskaźniku głębokości. Ciężarowe hamulce bezpieczeństwa w maszynach wyciągowych zaczęto stosować od 1895 roku.

Pierwszą elektryczną maszynę wyciągową na Górnym Śląsku uruchomiono w 1902 roku w kopalni „Concordia” w Zabrze. Silniki elektryczne pracujące w układzie Ward–Leonard podlegały systematycznemu rozwojowi i stopniowo wypierały silniki parowe. Do roku 1912 na Górnym Śląsku czynne były 32 elektryczne maszyny wyciągowe. Szybki rozwój napędu elektrycznego maszyn wyciągowych rozpoczął się przed pierwszą wojną światową, przy czym przeważał napęd Leonarda.

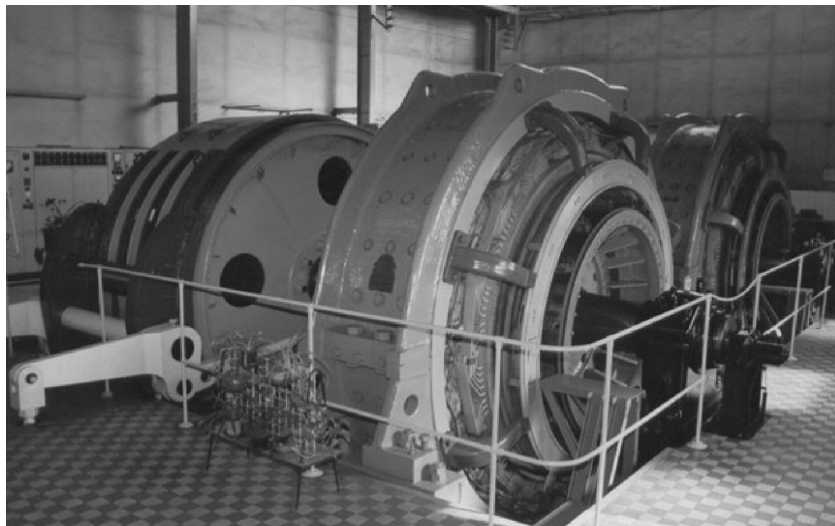
W kopalni „Wujek” na szybie „Krakus” od 1912 roku do dziś pracuje elektryczna maszyna wyciągowa o mocy 1020 kW, w układzie Leonarda – bez amplidyndy. Zestaw maszynowy przetwornicy pracował z zesprężlonym kołem zamachowym Ilgnera o masie 25 ton. Energia bezwładności wirujących mas pozwalała wykonać jeden pełny wyciąg przy wyłączonym napięciu zasilania przetwornicy. Silnik wykonany na podstawie dokumentacji firmy AEG z 1908 roku nie ma uzwojeń kompensacyjnych. Jako izolację w uzwojeniach zastosowano obwój bawełny impregnowany smołą. Łożyska ślizgowe wału głównego maszyny wyciągowej wykonała w 1912 roku firma „Donnersmarckhütte” w Zabrzu. Nastawnik regulatora ma styki w izolacji marmurowej.

Pierwsze rozwiązania napędu maszyn wyciągowych były realizowane z zastosowaniem silników prądu stałego, których prędkość regulowano metodą oporową. W okresie największej liczby zastosowań układów typu Ward–Leonard opracowano wiele różnych rozwiązań układów sterowania. Początkowo były to proste obwody prądu stałego, przy obsłudze których maszynista musiał ręcznie sterować maszyną. Aby wyeliminować zmniejszenie prędkości pod koniec cyklu ciągnięcia zostały wtedy wprowadzone mechaniczne krzywki zwalniające.

Dalszy rozwój napędów elektrycznych wiązał się z próbami zastosowania w układzie Leonarda prostowników rtęciowych zamiast zespołu przetwornicy. Pierwsze realizacje tych rozwiązań wprowadzono w 1936 roku. Napęd elektryczny z prostowni-

kami rtęciowymi nie rozpowszechnił się z powodu znacznych spadków napięć oraz wielkich rozmiarów zespołów prostownikowych.

Rozwój napędu maszyn wyciągowych w układzie Leonarda nastąpił po zastosowaniu wzmacniaczy maszynowych i magnetycznych do układów regulacji i automatyzacji napędu. Rotacyjne wzmacniacze – amplidyne – zostały zastosowane dla stabilizacji prądu oraz do układu regulacji. Obejmowały one wzmacniacze magnetyczne oraz lampy elektronowe z termokatodą. Układy te wymagały konserwacji oraz regulacji, aby system działał zgodnie z wymaganym cyklem pracy. W latach czterdziestych i pięćdziesiątych XX w. powstały rozwiązania w pełni zautomatyzowane, umożliwiające coraz dokładniejsze nadzorowanie prędkości ruchu. Pozwoliło to skonstruować maszyny wyciągowe w pełni zautomatyzowane, w których rola maszynisty podczas ciągnięcia urobku sprowadziła się do kontroli prawidłowości funkcjonowania.



Rys. 2. Maszyna wyciągowa układu Leonarda w kopalni „Wujek”

Fig. 2. Winder based on Leonardo system – "Wujek" coal mine

Po wynalezieniu w 1891 roku przez M. Doliwo-Dobrowolskiego trójfazowego silnika asynchronicznego rozpoczęto próby stosowania trójfazowych silników pierścieniowych w napędzie maszyn wyciągowych. Rozwiązania były jednak niedogodne, gdyż charakterystyki silników nie pozwalały na skuteczne stosowanie regulatorów jazdy z krzywkami, stosowanymi w maszynach parowych. Przy większych mocach do obracania nastawników stosowano serwomotory. Jedną z pierwszych maszyn wyciągowych napędzanych silnikiem asynchronicznym wykonano na szybie „Albert” w Zagłębiu Karwińsko-Cieszyńskim. Wysokość podnoszenia wynosiła 225 m, ciężar użyteczny 2,8 tony, prędkość ciągnięcia 4,5 m/s.

4. Budowa maszyn wyciągowych w polskich kopalniach po drugiej wojnie światowej

W 1938 roku w polskich kopalniach węgla parowe maszyny wyciągowe stanowiły 65,6% mocy zainstalowanej, natomiast maszyny wyciągowe o napędzie elektrycznym – tylko 34,4%. Okres powojenny charakteryzował się dużą aktywnością wydobywania i zapotrzebowaniem na maszyny wyciągowe. Rozwój górnictwa w Polsce Ludowej, w ramach realizacji 6-letniego planu gospodarczego, obejmował wymianę parowych maszyn wyciągowych na nowoczesne maszyny o napędzie elektrycznym. Potrzeby w zakresie maszyn wyciągowych do roku 1954 zaspokajano przeważnie dzięki importowi. Dużą ilość maszyn importowanych zainstalowano dla potrzeb górnictwa rud żelaza i metali kolorowych. Do roku 1976 wymieniono lub zlikwidowano 103 parowe maszyny wyciągowe.

Od roku 1952 budowę maszyn wyciągowych w Polsce prowadził Zakład Maszyn Wyciągowych przy ZKMPW w Gliwicach, pod kierownictwem Tadeusza Zmysłowskiego. Wykonawcami urządzeń do tych maszyn była Rybnicka Fabryka Maszyn oraz Zakłady Urządzeń Technicznych „Zgoda” w Świętochłowicach. Rozszerzenie produkcji w „ZUT–Zgoda” dla potrzeb przemysłu okrętowego spowodowało przejście produkcji asynchronicznych maszyn wyciągowych o mocy do 500 KW przez rozbudowaną Rybnicką Fabrykę Maszyn. Produkcja dużych maszyn pozostała nadal w gestii „ZUT–Zgoda”. W zakresie maszyn elektrycznych głównym producentem był Zakład „M.-5” we Wrocławiu, przemianowany później na „DOLMEL–Wrocław”. Montaż układu elektrycznego maszyn wyciągowych w kopalni wykonywało Przedsiębiorstwo Montażu Urządzeń Elektrycznych PMUE w Katowicach. Do roku 1961 w Polsce zainstalowano ponad 120 elektrycznych maszyn wyciągowych.

Następny zasadniczy krok w rozwoju elektrycznych maszyn wyciągowych dokonał się po zastosowaniu elementów półprzewodnikowych, zarówno do urządzeń sterujących, jak i układów do przetwarzania energii elektrycznej. Powstały wtedy pierwsze maszyny z prostownikami tyrystorowymi. Pierwsze konstrukcje z prostownikami tyrystorowymi powstały w latach pięćdziesiątych i były to napędy z silnikami prądu stałego, co umożliwiało łatwą modernizację istniejących instalacji z układem Leonarda. Zalety napędów prostownikowych umożliwiły wdrożenie nowych rozwiązań napędów dla silników prądu przemiennego zarówno asynchronicznych jak i synchronicznych.

Pierwszą w Polsce maszyną wyciągową typu 4L-5550/2x3400 z napędem tyrystorowym uruchomiła w 1971 roku firma ASEA, przy współpracy „ZUT–Zgoda” w kopalni „Lenin” w Mysłowicach–Wesołej. Pierwszą polską konstrukcją maszyny wyciągowej z napędem tyrystorowym opracowało Biuro Projektów Górniczych w Gliwicach, a została ona zainstalowana w szybie I kopalni „Staszic” w 1974 roku. W latach siedemdziesiątych XX w. zainstalowano również wiele maszyn z napędem prostownikowym produkcji firmy ASEA oraz silnikami produkcji „DOLMEL–Wro-

claw” serii PW-100. Część tych urządzeń była zainstalowana w kopalniach miedzi Zagłębia Lubińskiego.

Duże zastosowanie znalazły w Polsce elektryczne maszyny wyciągowe małej i średniej mocy napędzane silnikiem asynchronicznym. Prostota i taniość napędu z silnikiem asynchronicznym pierścieniowym spowodowała jego duże rozpowszechnienie.

Powszechnie stosowane w napędach maszyn wyciągowych o mniejszych mocach silniki asynchroniczne cechują się trudnością w uzyskaniu stabilnej prędkości jazdy. Zmiana kierunku jazdy jest wykonywana za pomocą styczników rewersyjnych w torze zasilania. Prędkość obrotowa jest regulowana zmianą rezystancji w obwodzie wirnika. Modernizowane układy napędu asynchronicznego zastępuje się układem kaskady zaworowej. Wadą układu kaskady zaworowej jest trudność uzyskania stabilnej pracy w całym zakresie prędkości. Rozwiązanie kaskady wdrożył „EMAG–Katowice” w KWK „Dymitrow” w 1986 roku oraz w KWK „Kazimierz-Juliusz” w 1989 roku.

Współczesne napędy maszyn wyciągowych w układach Leonarda w miejscu wzmacniaczy elektromaszynowych amplidyn wykorzystują energoelektroniczne przekształtniki zasilane z sieci prądu przemiennego i pozwalające na szeroką regulację napięcia prądnicy sterującej oraz wzbudzenia silnika wyciągowego. Zastosowane sprzężenia zwrotne pozwalają na dokładne odtworzenie zadanego wykresu prędkości. Rozwiązanie to stosuje się podczas modernizacji istniejących maszyn wyciągowych. Oprócz rozwiązań takich firm jak: Siemens, ABB, oraz AEG opracowano układ polski – JANTAR przy współpracy AGH Kraków, Elta Łódź, BPG Gliwice oraz PMUE Katowice. Pierwsze polskie zastosowanie miało miejsce w KWK „Czeczott” w 1983 roku. Zmodernizowano dwuklatkową maszynę 2L-5000/2000 o ciężarze użytkowym 10 Mg i prędkości jazdy 11 m/s. Do zasilania obwodu wzbudzenia prądnicy sterującej zastosowano rewersyjną wzbudnicę tyrystorową.

Dalszy postęp w energoelektronice oznaczał wprowadzenie silników prądu zmiennego ze sterowaniem cyklokonwertorowym, które zastosowano w kilku wyciągach szybowych. Zastosowanie cyklokonwertora do napędu silnika indukcyjnego daje dokładne odwzorowanie prędkości obrotowej poprzez proporcjonalność do częstotliwości zasilania silnika. Rozwiązanie takie, opracowane w 1992 roku przez BPG–Gliwice, zastosowano w maszynie wyciągowej o mocy 1000 kW dla szybu „Hołodunów” w KWK „Ziemowit”, a następnie w roku 1994 w KWK „Jankowice”.

Silnik synchroniczny z częstotliwościową regulacją prędkości po raz pierwszy w maszynie wyciągowej zastosowano w 1981 roku w kopalni „Neu Monopol” w Westfalii.

W silniku zastosowano podwójne uzwojenia stojana, zasilane z osobnych cyklokonwertorów. W 1988 roku dla maszyn wyciągowych skonstruowano specjalny rodzaj budowy silnika synchronicznego, tzw. silnik zintegrowany, będący jednocześnie silnikiem i kołem pędnym. Wał silnika jest nieruchomy, a na obrotowym korpusie stojana umieszczono koła pędni linowej. Pierwszy egzemplarz takiego silnika, wyprodukowany przez firmy Siemens i GHH–MAN zastosowano w 1988 roku w kopalni „Haus

Aden” w Niemczech. Silnik zintegrowany o 48 biegunach wzbudzenia ma moc 2200 kW, częstotliwość nominalną 14,1 Hz o trzykrotnej przeciążalności i pracuje z czterema kołami linowymi.

W kopalni „Wieczorek” w Katowicach na szybie „Giszowiec” uruchomiono w 1992 roku napęd cyklokonwertorowy z silnikiem GXW–2032 o mocy 900 kW i napięciu 1600V, w którego konstrukcji wykorzystano wykroje z blach typowe dla silników synchronicznych. Silnik ten o częstotliwości 12,3 Hz ma 32 bieguny oraz prędkość znamionową 45,8 obr/min.

Spośród polskich inżynierów zajmujących się rozwojem napędów elektrycznych maszyn wyciągowych w okresie powojennym należy wymienić: Zbigniewa Borówkę, Eugeniusza Kosonockiego, Janusza Łaszczę, Jana Manitiusa, Jana Obrąpalskiego, Oktawiana Popowicza, Ludgera Szklarskiego, Władysława Sztwiertnię, Tadeusza Zmysłowskiego.

5. Podsumowanie

Napęd maszyn wyciągowych i jego możliwość ciągnięcia urobku decyduje o wielkości wydobycia kopalni. Z rozwojem napędu elektrycznego maszyn wyciągowych doskonalono pozostałe układy składające się na całość instalacji. We współczesnych maszynach wyciągowych wykorzystuje się technikę mikroprocesorową i osiągnięcia informatyki. Układ maszyny wyciągowej przeobraża się z układu automatycznego na układ robotyczny.

Literatura

- [1] KOSONOCKI E., MANITIUS J., SZKLARSKI L., SZTIWERTNIA W., *Napędy elektryczne maszyn wyciągowych*, PWN, 1957.
- [2] OBRĄPALSKI J., *Elektryczne maszyny wyciągowe*, PWT Stalinogród, 1954.
- [3] SZKLARSKI L., ZARUDZKI J., *Elektryczne maszyny wyciągowe*, PWN, 1998.
- [4] ZMYSŁOWSKI T., *Maszyny wyciągowe z napędem asynchronicznym*, ZKMPW, 1962.

Development of Lifting Machines in Mines from Steam to Electricity

The article describes the development of hoisting machine drives since the beginning of their creation until contemporary times. Special consideration was given to the development of electric drives of hoisting machines used in the mines in Poland.