

Rozwój górniczych maszyn wyciągowych – od pary po elektryczność

Stefan Gierlotka

Pierwotny górnik 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 podziemnymi wyrobiskami poziomymi, oddalonymi od szybu nieraz o kilka kilometrów, zaprzęgnięto wtedy do pracy konie, parę, a wreszcie elektryczność.

Wzrost wydobycia węgla kamiennego jako paliwa nastąpił po 1763 r. dla rozwijającego się hutnictwa oraz rozpowszechniających się silników parowych. Produkcja światowa węgla w 1800 r. wynosiła 11,6 mln t, a w 1900 r. wydobywano 707 mln t. W początkach XIX w. wydobycie węgla rosło tak szybko, że wcześniej stosowane ręczne kołowroty zdecydowano zastąpić za pomocą kieratu konnego. Do wyciągnięcia 26 t 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 m na powierzchnię 44 t węgla. Napędu kieratowego zaniechano w kopalniach Górnego Śląska z końcem XIX w. Proces stopniowej mechanizacji śląskiego górnictwa rozpoczął się już w 1784 r., kiedy to w kopalni tarnogórskiej pojawiła pierwsza maszyna parowa.

Parowe maszyny wyciągowe

Początki pierwszych zastosowań maszyn parowych w Polsce wiążą się z obszarem Górnego Śląska. W 1788 r. zainstalowano pierwszą maszynę parową do 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 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 r. W górnictwie rudnym w rejonie Tarnowskich Gór w końcu XVIII w. dla odwad-

niania wyrobisk pracowało kilka maszyn parowych różnego rodzaju. Pierwsze maszyny parowe sterowane były wentylami, a dopiero od 1799 r. zastosowano sterownik suwakowy.

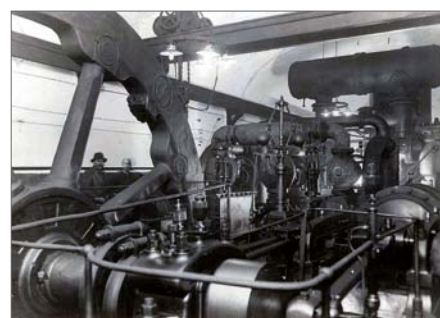
Budowę pierwszych parowych maszyn wyciągowych do ciągnięcia węgla na powierzchnię rozpoczęto w śląskich kopalniach z początkiem XIX w. Pierwszą parową maszynę wyciągową uruchomiono w 1814 r. w Kopalni „Königsgrube” („Król”) w Chorzowie, która z głębokości 40 m wyciągała 107 t węgla na dobę. W 1826 r. w 52 kopalniach Górnego Śląska stosowano trzy maszyny parowe wyciągowe i sześć do odwadniania wyrobisk. W 1852 r. w 78 kopalniach pracowało 26 parowych maszyn wyciągowych i 38 odwadniających.

Pod koniec pierwszej połowy XIX w. w wielu kopalniach górnośląskich przystąpiono do eksploatacji głębinowej. W 1896 r. spośród 293 szybów aż 220 miało głębokość poniżej 200 m, a cztery przekraczały głębokość 400 m. W 1911 r. najgłębszy szyb osiągnął 774 m.

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

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 r. w szybie wydobywczym Kopalni „Bieliszowice” w Rudzie Śląskiej.

W 1977 r. w polskich kopalniach węgla kamiennego czynnych było 31 parowych



maszyn wyciągowych, a w 1986 r. tylko 14. Parowe maszyny wyciągowe przedstawiały szczególną wartość historyczną.

Pogłębianie kopalń oraz wzrost ciężaru wyciąganego urobku powodowały, że mechanizacja transportu stawała się koniecznością. Rosła moc stosowanych maszyn parowych. Równocześnie podejmowano próby z prądem elektrycznym.

Pierwsze maszyny wyciągowe o napędzie elektrycznym

Początkowo napędy elektryczne maszyn wyciągowych nie mogły skutecznie konkurować z parowymi maszynami wyciągowymi. Przy każdej kopalni istniała kotłownia, w której wytwarzanie pary dla maszyn parowych nie stanowiło trudności. Konkurencja przedsiębiorstw produkujących maszyny parowe utrud-

niała i uniemożliwiała rozwój firmom elektrycznym. W tych warunkach rozwój elektrycznych maszyn wyciągowych był bardzo utrudniony.

Szybki postęp techniczny, który dokonał się na przełomie XIX i XX w. w dziedzinie elektrotechniki, 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.

Pierwszą maszyną wyciągową z napędem elektrycznym zainstalowano w Kopalni „Thiederhall” w Brunshwiku w 1894 r. W szybie o głębokości 200 m do napędu urządzenia wyciągowego zastosowano dwa silniki bocznikowe prądu stałego. Silniki zasilane napięciem 500 V sterowane były nastawnikiem rezystorowym. Silniki przełączano w układ elektryczny szeregowy lub równoległy. Prędkość ciągnięcia szybem 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. Energia zgromadzona w akumulatorach pozwalała na dokończenie jazdy w przypadku uszkodzenia prądnicy kopalnianej. Zastosowany był już regulator jazdy, którego program jazdy był kontrolowany krzywkami osadzonymi na obrotowej tarczy.

W 1901 r. w Gelsenkirchen w szybie „Zollern” zainstalowano elektryczną maszyną 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 1891 r. Ward-Leonard 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 na układzie Leonarda. Pierwsze rozwiązanie oparte było na jednostopniowym układzie Leonarda. W 1901 r. Ilgner opatentował zastosowanie koła zamachowego do przetwornicy Leonarda – bez amplidyny. Układ Leonarda–Ilgnera z kołem zamachowym miał szereg zalet w porów-

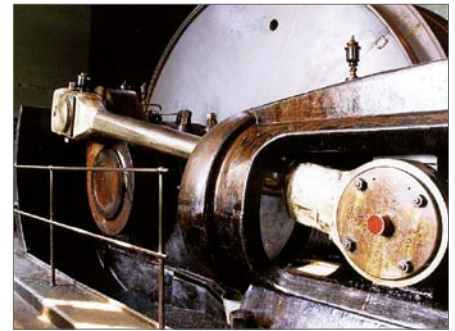
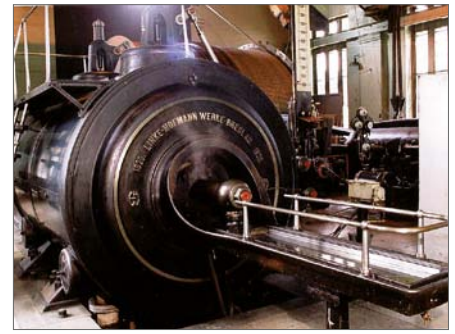
naniu do układu z baterią wyrównawczą, wobec czego w maszynie wyciągowej w szybie „Zollern” w Gelsenkirchen zabudowano przetwornicę w układzie Leonarda z kołem zamachowym. Ciężar koła zamachowego wynosił 42 t. Maszyną wyciągową wyposażono w jeden z pierwszych regulatorów jazdy zainstalowanych na wskaźniku głębokości.

Maszyny wyciągowe od 1895 r. były wyposażone w ciężarowe hamulce bezpieczeństwa oraz luzowniki elektromagnetyczne. Hamulce manewrowe powietrzne pojawiły się po 1900 r.

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

W Kopalni „Wujek” w szybie „Krakus” od 1912 r. pracuje nadal elektryczna maszyna wyciągowa o mocy 1020 kW w układzie Leonarda – bez amplidyny. Zestaw maszynowy przetwornicy pracował z zesprężlonym kołem zamachowym Ilgnera o masie 25 t. Energia bezwładności wirujących mas pozwalała wykonać jeden pełny wyciąg przy wyłączonym napięciu zasilania przetwornicy. Silnik wykonany na podstawie dokumentacji firmy AEG z 1908 r. nie posiada dodatkowych uzwojeń kompensacyjnych. Jako izolację w uzwojeniach zastosowano obwój bawełny impregnowany smołą. Łożyska ślizgowe wału głównego maszyny wyciągowej wykonane w 1912 r. przez firmę „Donnersmackhütte” pracują do dzisiaj. Nastawnik regulatora (z początków XX stulecia) posiada styki w izolacji marmurowej.

Pierwsze rozwiązania napędu maszyn wyciągowych były realizowane z zastosowaniem silników prądu stałego lub z silnikami asynchronicznymi, których prędkość regulowano metodą oporową. Te podstawowe rozwiązania okazały

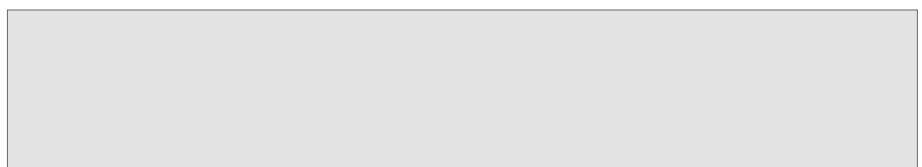


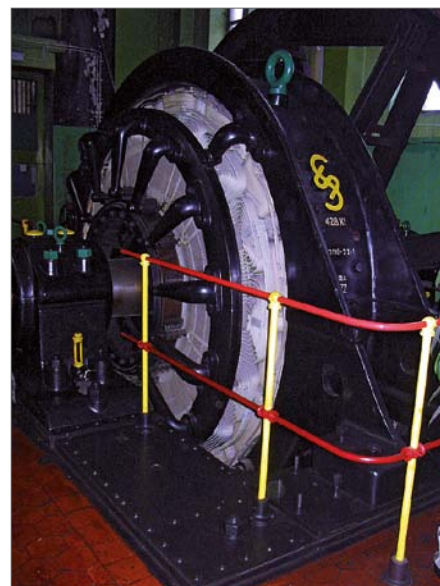
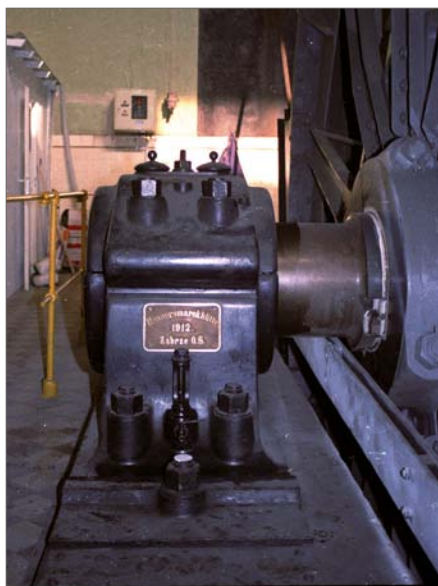
się niedogodne ze względu na elastyczność charakterystyk mechanicznych, co w konsekwencji uniemożliwiała stosowanie regulatorów jazdy.

W okresie największej liczby zastosowań układów typu „Ward-Leonard” opracowano wiele różnych rozwiązań układów sterowania. Początkowo były to proste obwody prądu stałego i maszynista musiał dokładnie ręcznie sterować maszyną. Mechaniczne krzywki zwalniające zostały wtedy wprowadzone, aby wymusić zmniejszenie prędkości pod koniec cyklu ciągnięcia.

Dalszy rozwój napędów elektrycznych wiązał się z próbami zastosowania w układzie Leonarda prostowników rtęciowych w miejscu zespołu przetwornicy. Pierwsze realizacje tych rozwią-

reklama





zań wprowadzono w 1936 r. Napęd elektryczny z prostownikami rtęciowymi nie rozpowszechnił się z powodu znacznych spadków napięć oraz wielkich wymiarów zespołów prostownikowych.

Rozwoju napędu maszyn wyciągowych w układzie Leonarda nastąpił po zastosowaniu wzmacniaczy maszynowych i magnetycznych dla układów regulacji i automatyzacji napędu. Rotacyjne wzmacniacze – amplidyne zostały zastosowane do stabilizacji prądu oraz do układu regulacji. Obejmowały one wzmacniacze magnetyczne, lampy elektronowe z termokatodą oraz tranzystory. Te wszystkie układy wymagały konserwacji oraz regulacji, aby system działał zgodnie z wymaganym cyklem pracy. W latach 40. i 50. XX w. powstały rozwiązania w pełni zautomatyzowane, umożliwiające coraz dokładniejsze odwzorowanie prędkości ruchu. Pozwoliło to skonstruować maszyny wyciągowe, w pełni zautomatyzowane, w których rola maszynisty sprowadziła się do nadzoru prawidłowości funkcjonowania.

Po wynalezieniu w 1891 r. 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 mającymi już wtedy zastosowanie w maszynach parowych. Przy większych mocach do obracania nastawników stosowano serwowmotory. Jedną z pierwszych maszyn wyciągowych o napędzie silnikiem

asynchronicznym wykonano w szybie „Albert” w Zagłębiu Karwińsko-Cieszyńskim. Wysokość podnoszenia wynosiła 225 m, ciężar użyteczny 2,8 t, prędkość ciągnięcia 4,5 m/s.

Elektryczne maszyny wyciągowe w polskich kopalniach

W 1938 r. w polskich kopalniach węgla na ogólną moc maszyn wyciągowych 129271 KM, napęd parowy stanowił 65,6%, natomiast elektryczny 34,4%. Okres powojenny, po 1945 r. 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 1954 r. zaspokajano przeważnie z importu. Dużą liczbę maszyn importowanych zainstalowano na potrzeby górnictwa rud żelaznych i metali kolorowych. Do 1976 r. wymieniono lub zlikwidowano 103 parowe maszyny wyciągowe.

Konstrukcję wyciągów szybowych w Polsce od 1952 r. wykonywał Zakład Maszyn Wyciągowych przy ZKMPW w Gliwicach. Wykonawcami urządzeń do tych maszyn była Rybnicka Fabryka Maszyn oraz Zakłady Urządzeń Technicznych „Zgoda” w Świętochłowicach. Rozszerzenie produkcji w ZUT „Zgoda” na potrzeby przemysłu okrętowego spowodowało przejście produkcji asynchronicznych maszyn wyciągowych o mocy

do 500 KW przez rozbudowaną Rybnicką Fabrykę Maszyn. Produkcja dużych maszyn pozostała nadal w ZUT „Zgoda”. W zakresie maszyn elektrycznych głównym producentem był Zakład M-5 we Wrocławiu przemieniony w okresie późniejszym na DOLMEL – Wrocław. Montaż układu elektrycznego maszyn wyciągowych w kopalni wykonywało Przedsiębiorstwo Montażu Urządzeń Elektrycznych PMUE w Katowicach. Do 1961 r. w Polsce wyprodukowano i uruchomiono 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 50. XX w. i były to napędy z silnikami prądu stałego, co umożliwiało łatwą modernizację istniejących instalacji z układem Leonarda. Zalety napędów prostownikowych umożliwiły rozwój nowych kierunków związanych z zastosowaniem silników prądu przemiennego, asynchronicznego i synchronicznego.

W Polsce pierwszą maszyną wyciągową typu 4L-5550/2x3400 z napędem tyrystorowym uruchomiła w 1971 r. firma ASEA przy współpracy ZUT „Zgoda” w Kopalni „Lenin” w Mysłowicach-We-sołej. Pierwszą polską konstrukcją maszyny wyciągowej z napędem prostownikowym opracowały Biura Projektów



Górnicych w Gliwicach. Maszyna ta została zainstalowana w szybie I Kopalni „Staszic” w 1974 r. W latach 70. ubiegłego wieku zainstalowano również wiele maszyn z napędem prostownikowym produkcji firmy ASEA oraz silnikami produkcji DOLMEL – Wrocław serii PW-100. Część tych rozwiązań była zainstalowana w kopalniach miedzi Zagłębia Lubińskiego.

W Polsce bardzo duże zastosowanie znalazły elektryczne maszyny wyciągowe małej i średniej mocy napędzane silnikiem asynchronicznym. Względna prostota i niska cena napędu z silnikiem asynchronicznym pierścieniowym spowodowały duże jego rozpowszechnienie.

Rozpowszechnione w napędach maszyn wyciągowych o mniejszych mocach silniki asynchroniczne mają trudności 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 jednak problem uzyskania stabilnej pracy w całym zakresie prędkości. Rozwiązanie kaskady wdrożył EMAG – Katowice w KWK „Dymitrow” w 1986 r. oraz w KWK „Kazimierz – Juliusz” w 1989 r.

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 te stosuje się podczas modernizacji istniejących maszyn wyciągowych. Oprócz roz-

wiązań takich firm, jak: Siemens, ABB, oraz AEG, opracowano układ polski – JANTAR przy współpracy AGH w Krakowie, Elta w Łodzi, BPG w Gliwicach oraz PMUE w Katowicach. Pierwsze polskie zastosowanie miało miejsce w KWK „Czczot” w 1983 r. Zmodernizowano dwuklatkową maszyną 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 technice przetworników 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. Opracowany w 1992 r. przez CMG KOMAG zastosowano w szybie „Hołdunów” KWK „Ziemowit” oraz w KWK „Jankowice” w 1994 r.

Silnik synchroniczny z częstotliwościową regulacją prędkości po raz pierwszy w maszynie wyciągowej zastosowano w 1981 r. w Kopalni „Neu Monopol” w Westfalii. W silniku zastosowano podwójne uzwojenia stojana, zasilane z osobnych cyklokonwertorów. W 1988 r. 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 r. 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 w szybie „Giszowiec” uruchomiono w 1992 r. napęd cyklokonwertorowy z silnikiem GXW–2032 o mocy 900 kW i napięciu 1600 V, w którego konstrukcji wykorzystano wykreje z blach typowe dla silników synchronicznych. Silnik ten o częstotliwości 12,3 Hz posiada 32 bieguny oraz prędkość znamionową 45,8 obr./min.

Wśród polskich inżynierów zajmujących się rozwojem napędów elektrycznych maszyn wyciągowych w okresie powojennym należy wymienić takich inżynierów, jak: Zbigniew Borówka, Cyprian Brudkowski, Józef Grzyśka, Jan Jelonek, Eugeniusz Kosonocki, Janusz Łaszcz, Jan Manitus, Jan Obrąpalski, Ludger Szklarski, Władysław Szwiertnia, Włodzimierz Wojtowicz, Jacek Zarudzki, Tadeusz Zmysłowski i Henryk Zygmunt.

Z rozwojem napędu elektrycznego maszyn wyciągowych doskonalono pozostałe układy składające się na całość instalacji. Powszechnie wykorzystuje się technikę mikroprocesorową i osiągnięcia informatyki. Układ maszyny wyciągowej przeobraża się z układu automatycznego na układ robotyczny.

Literatura

- [1] FRITZSCHE C.: *Lehrbuch der Bergbaukunde*. Erste Band. Berlin/Heidelberg 1961.
- [2] GIERLOTKA S.: *100 lat stosowania elektrycznych maszyn wyciągowych w śląskich kopalniach*. „Przegląd Górniczy” nr 6, 2004.
- [3] GIERLOTKA S.: *Historia górnictwa*. Wydawnictwo Naukowe Śląsk. Katowice 2009.
- [4] KOSONOCKI E., MANITIUS J., SZKLARSKI L., SZTWIERTNIA W.: *Napędy elektryczne maszyn wyciągowych*. PWN, 1957.
- [5] OBRAPALSKI J.: *Elektryczne maszyny wyciągowe*. PWT Stalinogród 1954.
- [6] SZKLARSKI L., ZARUDZKI J.: *Elektryczne maszyny wyciągowe*. PWN 1998.
- [7] ZMYSŁOWSKI T.: *Maszyny wyciągowe z napędem asynchroniczny*. ZKMPW, 1962.

dr hab. inż. Stefan Gierlotka –
Stowarzyszenie Elektryków Polskich,
Oddział Zagłębia Węglowego Katowice