

Zintegrowany system sterowania stacji wentylatorów głównych przewietrzania kopalń głębinowych

W artykule przedstawiono realizację kompletnego systemu sterowania stacji wentylatorów głównych z zintegrowanym systemem zdalnego sterowania i monitorowania, jego układ zasilania oraz schemat łączności. Omówiono współpracę poszczególnych elementów systemu. Zaprezentowano przykładowy interfejs użytkownika do sterowania i monitorowania pracy stacji wentylatorowej w oparciu o ekran graficzny z panelem dotykowym, a także przykładowe wdrożenie.

słowa kluczowe: górnictwo, wentylatory, wentylacja, automatyczne sterowanie.

1. WSTĘP

Aby zapewnić właściwą wymianę powietrza we wszystkich czynnych wyrobiskach kopalni, oprócz wykorzystania depresji naturalnej wywołuje się depresję sztuczną. W tym celu stosuje się zabudowane przy szybach wydechowych na powierzchni układy wentylatorów [6] napędzane silnikami elektrycznymi. Wentylatory te stanowią wentylację główną, służącą do utrzymania wymaganego składu powietrza i jego temperatury w wyrobiskach podziemnych. W zakładzie górniczym eksploatującym kopaliny palne stosuje się przewietrzanie ssące [6]. Uzyskuje się je poprzez wytworzenie za pomocą wentylatorów podciśnienia zasysającego powietrze z głębi kopalni i odprowadzenie go do atmosfery poprzez dyfuzory.

Zgodnie z przepisami górnictwem wentylatory główne powinny umożliwiać rewersję wentylacji, tzn. zmianę kierunku przepływu powietrza w kopalni, co realizowane jest przez zestaw klap i zasuw lub zmianę kierunku obrotów wentylatora.

Stacje wentylatorów głównych powinny być wyposażone w przyrządy dokonujące ciągłych pomiarów prędkości powietrza w kanale wentylacyjnym oraz podciśnienia statycznego przed i za zasuwą, a także podciśnienia statycznego w przekroju szybu wydechowego. Pomiar prędkości powietrza oraz podciśnienia przed zasuwą powinny być automa-

tycznie rejestrowane, a pozostałe pomiary dokumentowane [6].

Przepisy wymagają także, aby w każdym szybie wydechowym oprócz czynnego wentylatora głównego lub zespołu wentylatorów głównych obecny był wentylator rezerwowy, którego uruchomienie możliwe jest w przeciągu 10 minut [6].

Przerwy w pracy wentylatora głównego powinny być automatycznie sygnalizowane dyspozytorowi, a czas trwania przerw oraz przyczyny ich wystąpienia dokumentowane [6]. Przerwa trwająca co najmniej 20 minut skutkuje wstrzymaniem robót i wyprowadzeniem załogi w kierunku szybów wdechowych lub na powierzchnię [6]. Ważne jest więc, aby system wentylacji działał sprawnie i niezawodnie.

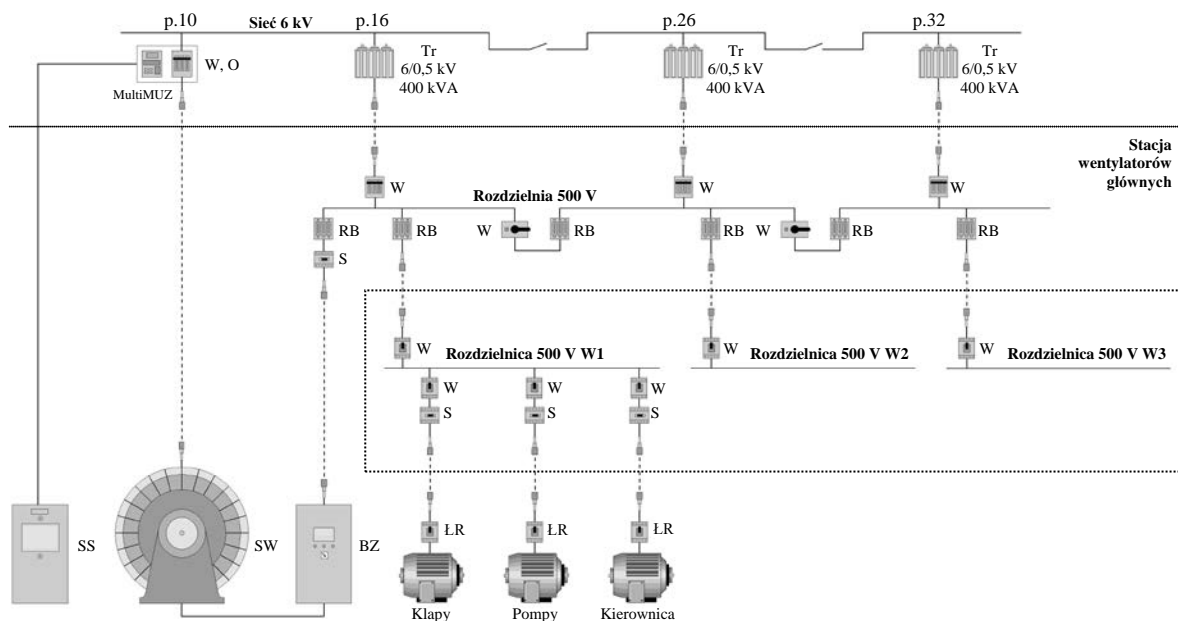
W samej stacji wentylatorowej, oprócz wentylatorów wraz ich układami napędowym i urządzeń kontrolno-pomiarowych systemu wentylacji, znajduje się szereg urządzeń pomocniczych (np. układy sterowania pomp oleju smarującego łożyska części wirujących, układy ustawiania klap wentylatorów służących do dławienia przepływu powietrza w szybie wentylacyjnym itp.) oraz zabezpieczających (zabezpieczenia elektryczne i temperaturowe silników, układy pomiaru drgań i parametrów elektrycznych itp.). Zautomatyzowanie procesu sterowania stacji wentylatorowej, poprzez objęcie nadzorem i możliwością sterowania wszystkimi elementami wykonawczymi za pomocą jednego urządzenia nadrzędnego, znacznie podnosi

jakość obsługi, jak również eliminuje niebezpieczeństwo błędów i pomyłek obsługi w przypadku tak newralgicznego systemu, jak system wentylacji kopalń.

Przedstawiony w artykule zintegrowany system sterowania stacji wentylatorów, opracowany przez firmę JJA Progres przy współudziale naukowców Politechniki Śląskiej, spełnia wszystkie wymagania przepisów górniczych i jest eksploatowany w sposób ciągły w kilku kopalniach na terenie Polski.

2. SYSTEM STACJI WENTYLATOROWEJ

Na rys. 1. przedstawiono schemat poglądowy zasilania silników wentylatorów i urządzeń pomocniczych stacji wentylatorowej wdrożony w jednej z kopalń węgla kamiennego.



Rys. 1. Rysunek poglądowy zasilania silnika wentylatora i urządzeń pomocniczych: SS – szafa sterownicza, SW – silnik wentylatora, BZ – blok zasilania silnika synchronicznego, W – wyłącznik, O – odłącznik, S – stycznik, RB – łącznik bezpiecznikowy, LR – łącznik remontowy, MultiMUZ – cyfrowy zespół zabezpieczeń

Przedstawiony schemat poglądowy zawiera jedynie elementy systemu zasilania urządzeń elektrycznych. Konieczna jest także współpraca z elementami mechanicznymi, zarówno samego systemu napędowego (np. hamulec mechaniczny na wale silnika), jak i z aparaturą kontrolno-pomiarową mierzącą parametry powietrza w szybie wentylacyjnym. Sterowanie stacji wentylatorowej jest więc procesem złożonym, wymagającym kontroli i sterowania wieloma różnorodnymi urządzeniami.

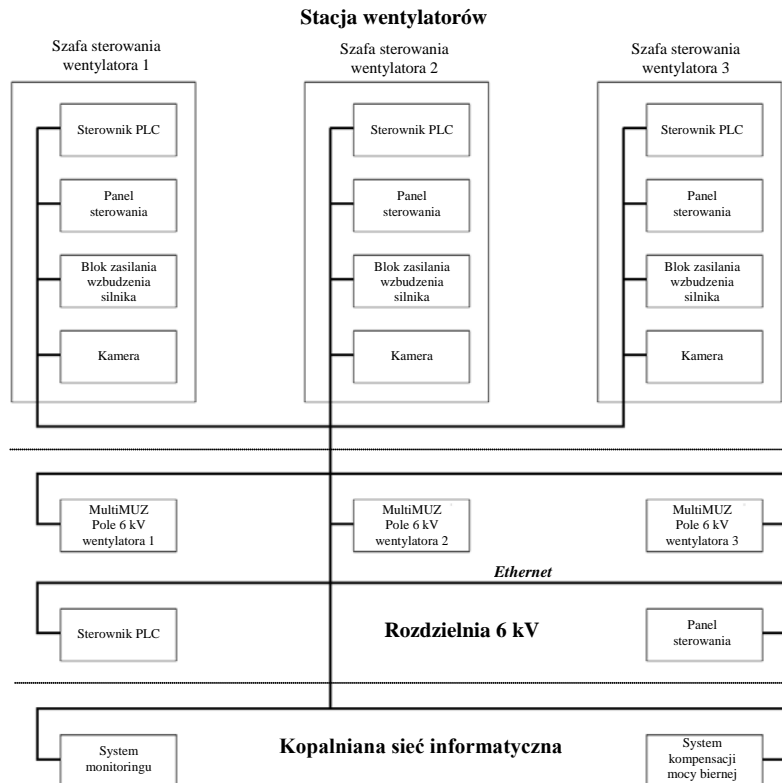
Aby możliwa była integracja obsługi wszystkich elementów z wybranych stanowisk, konieczne jest zbudowanie systemu łączności pomiędzy poszczególnymi urządzeniami. W prezentowanym rozwiązaniu wykorzystano lokalną sieć Ethernet. Łączność realizowana jest za pomocą protokołu TCP/IP.

Na rys. 2. przedstawiono schemat systemu komunikacyjnego stacji wentylatorowej z możliwością współpracy z zewnętrznymi systemami informatycznymi.

W stacji wentylatorowej znajduje się zwykle kilka wentylatorów. W prezentowanym rozwiązaniu dla każdego z trzech wentylatorów zastosowano sterowniki PLC, komunikujące się ze sobą oraz z pozostałymi elementami systemu stacji wentylatorowej, a także z systemem zdalnego monitorowania i centralnym układem kompensacji mocy biernej.

Integracja systemu sterowania umożliwia sterowanie i kontrolę stacji wentylatorowej z panelu dotykowego szafy sterującej dowolnego wentylatora lub sterowników zainstalowanych w innej lokalizacji, np. w rozdzielni 6 kV, z zachowaniem niezależnego układu sterowania i zasilania każdego z wentylatorów według wymagań normy [5]. Struktura systemu pozwala na łatwą rozbudowę o kolejne funkcje i współpracę z dowolnymi programami wizualizacyjnymi lub dyspozytorskimi.

Opracowany układ sterowania obsługuje wszystkie rodzaje wentylatorów, niezależnie od ich ilości, z napędami synchronicznymi lub asynchronicznymi. Prezentowane rozwiązanie bazuje na trzech wentylatorach napędzanych silnikami synchronicznymi [3, 4].



Rys. 2. System komunikacyjny

3. UKŁAD STEROWANIA WENTYLATORA

Układ sterowania wentylatora oparty jest na sterowniku PLC współpracującym z komputerem przemysłowym wyposażonym w ekran z panelem dotykowym wykorzystywanym do wizualizacji procesu oraz obsługi reakcji użytkowników. Możliwe jest również sterowanie stacją z paneli umieszczonych w innych lokalizacjach.

Sterownik kontroluje wszystkie elementy systemu za pomocą układu wejść/wyjść cyfrowych i analogowych oraz poprzez system komunikacji. Prowadzi ciągłą kontrolę gotowości do załączenia wentylatora także podczas postoju, a także współpracuje z szybową aparaturą pomiarową, rejestrując parametry związane z procesem wentylacji.

Podstawowym trybem pracy jest tryb automatyczny, w którym niezależne układy sterowania wszystkich wentylatorów współpracują ze sobą. Przy tego typu sterowaniu nad całością procesu rozruchu, pracy oraz zatrzymania silnika, jak również otwierania i zamykania kłap czuwa układ automatyki. Awaryjne wyłączenie pracującego wentylatora powoduje automatyczne, bezobsługowe załączenie wentylatora będącego w rezerwie. Czas przełączenia wentylatorów ograniczony jest tylko czasem uzyskania odpowiedniego ciśnienia oleju, przestawieniem kłap oraz uruchomieniem i synchronizacją silnika napędu wentylatora.

W trybie półautomatycznym załączenie wentylatora do pracy wymaga naciśnięcia tylko jednego przycisku na ekranie panelu operatorskiego, co powoduje uruchomienie układu smarowania kontrolowanego przez czujnik ciśnienia oleju, podłączonego do sterownika, a po osiągnięciu wymaganego poziomu ciśnienia oleju przeprowadzana jest automatyczna procedura rozruchu silnika i przestawienie kłap systemu wentylacji.

W trybie pracy ręcznej układ smarowania, układ wzbudzenia i silnik 6 kV załączane są ręcznie, za pomocą panelu operatorskiego. Synchronizacja silnika kontrolowana jest przez sterownik, a po jej wykonaniu konieczne jest ręczne przestawienie przepustnicy.

W trybie pracy awaryjnej istnieje możliwość uruchomienia wentylatora poza systemem informatycznym, bez udziału sterownika i panelu operatorskiego, przy pomocy przycisków zlokalizowanych na szafie sterowania. Synchronizacja silnika przeprowadzona jest przez układ mikroprocesorowy bloku zasilania wzbudzenia [1]. W trybie awaryjnym działają wszystkie zabezpieczenia realizowane przez zabezpieczenie multiMUZ w polu 6 kV zasilającym silnik wentylatora oraz zabezpieczenia technologiczne wentylatora (drżania łożysk wentylatora, temperatury łożysk silnika i wentylatora, ciśnienie oleju w instalacji smarowania łożysk). Tryb ten jest wykorzystywany jedynie w przypadku awarii podstawowego układu sterownika.

4. UKŁAD ZASILANIA

Stojan silnika wentylatora zasilany jest z pola rozdzielni głównej 6 kV. Sterowanie łącznikami pola może odbywać się lokalnie lub automatycznie z szafy sterowania stacją wentylatorową. W polu wentylatora zainstalowane jest zabezpieczenie MultiMUZ przekazujące do sterownika informacje o położeniu łączników w polu 6 kV, statusie zabezpieczeń, stanie przekaźników rozruchowych itp. Do sterowania prądem w obwodzie wzbudzenia silnika synchronicznego napędu wentylatora wykorzystano blok zasilania z wbudowanym regulatorem mocy biernej [1].

Urządzenie zawiera przekształtnik tyrystorowy oraz tranzystorowy układ kluczowania rezystora rozruchowego, nadzorowane przez układ mikroprocesorowy. Oprogramowanie urządzenia pozwala na autonomiczne sterowanie pracą silnika, poczynając od rozruchu, poprzez pracę synchroniczną z możliwością automatycznej regulacji prądu wzbudzenia lub mocy biernej, procedury forsowania prądu wzbudzenia, po proces wyłączenia technologicznego lub awaryjnego. Blok zasilania silnika może współpracować także pod nadzorem systemu nadrzędnego, w tym przypadku sterownika PLC systemu stacji wentylatorowej. Dodatkowo urządzenie może być włączone do nadrzędnego układu kompensacji mocy biernej, realizując bezstopniową, nadążną regulację mocy biernej w trakcie pracy synchronicznej silnika [2].

Sterownik, współpracując z polem 6 kV, przeprowadza rozruch silnika (w tym także dla układu z dławikiem rozruchowym) oraz wykonuje synchronizację według wybranego algorytmu (czasowego, prądowego, prędkościowego), po której następuje przestawienie kłap i włączenie wentylatora na sieć wentylacyjną. Jednocześnie kontrolowane są wszystkie zabezpieczenia. W przypadku zadziałania jakiegokolwiek zabezpieczenia zlokalizowanego w stacji wentylatorów następuje wyłączenie wyłącznika w polu 6 kV.

5. STEROWANIE KLAP I KIEROWNICY

Dostosowanie wydajności wentylatorów do zapotrzebowania na powietrze realizowane jest obecnie najczęściej przez zmianę liczby jednocześnie pracujących silników, dławienie przepływu powietrza lub zmianę kąta natarcia łopat wentylatora.

W prezentowanym rozwiązaniu sterownik na podstawie sygnałów przekazywanych z układu kłap i kierownicy kontroluje ich ustawienie, a aktualny

stan wyświetlany jest na ekranie panelu dotykowego. Kontrolowane są: układ zasilania, status stycznika, zabezpieczenie silnikowe, napięcie sterujące, wybór rodzaju pracy oraz położenie łącznika remontowego. Napędy kierownic wyposażone są w przetworniki położenia, umożliwiające ciągłe śledzenie położenia łopatek kierownicy.

Sterowanie kłap odbywa się z ekranu dotykowego lub lokalnie z kaset sterowniczych umieszczonych przy napędach. W przypadku uruchomienia silnika w trybie automatycznym lub półautomatycznym sterownik ustawia kłapy do rozruchu, a po udanej synchronizacji silnika przestawia je, tzn. otwiera dla wentylatora przejmującego obciążenia i zamyka dla wentylatora przechodzącego do rezerwy.

Kierownica może być sterowana przez obsługę w każdym momencie pracy wentylatora w celu regulacji wydajności wentylatora – pomiar wydajności jest dostępny na ekranie panelu sterującego.

6. SZYBOWA APARATURA KONTROLNO-POMIAROWA

W kanałach szybowych zainstalowane są rurki Prandtla, na końcu których umieszczono inteligentne czujniki do pomiaru różnicy ciśnień, prędkości i wydajności powietrza. Do pomiaru podciśnienia statycznego przed i za zasuwami oraz depresji w szybie zastosowano czujniki podciśnienia. Wykorzystane czujniki współpracują z modułami analogowymi typu 4-20 mA sterownika PLC, a cała instalacja zrealizowana jest w wykonaniu iskrobezpiecznym.

Pomiary parametrów szybowych każdego z wentylatorów przekazywane są do wszystkich sterowników zainstalowanych w stacji, gdzie zgodnie z przepisami są rejestrowane i archiwizowane [6]. W ten sposób rejestracja parametrów szybowych odbywa się w kilku niezależnych urządzeniach. Awaria którekolwiek z nich nie oznacza braku możliwości rejestracji danych.

System sterowania i nadzoru stacji umożliwia powiadomienie obsługi w przypadku przekroczenia zadanych zakresów parametrów procesu wentylacji.

7. INTERFEJS UŻYTKOWNIKA

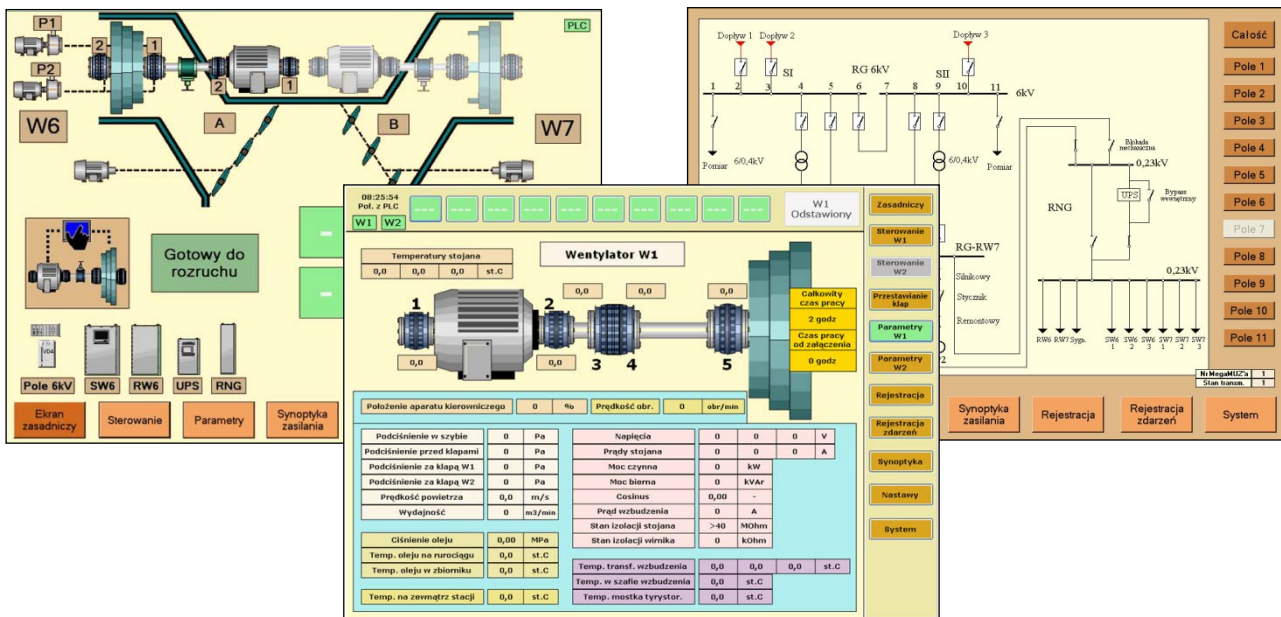
Interfejs użytkownika zrealizowany został z wykorzystaniem komputerów przemysłowych z panelem dotykowym, współpracujących ze sterownikami PLC wentylatorów.

Panel dotykowy pozwala na realizację pól użytkownikowskich oraz służy do prezentacji aktualnych i archiwalnych danych dotyczących pracy systemu. Umożliwia prezentację w przejrzysty sposób stanu wszystkich urządzeń wyposażenia stacji wentylatorów, będących pod nadzorem sterowników.

Oprogramowanie komputera przemysłowego z panelem sterującym udostępnia różnorodne analizy dotyczące m.in. zarejestrowanych parametrów pracy systemu wentylacji, parametrów elektrycznych silni-

ka napędu wentylatora, zmian stanu pracy stacji wentylatorowej i poszczególnych urządzeń, zdarzeń alarmowych i awaryjnych. Dane mogą być prezentowane w formie tekstowej lub za pomocą wykresów czasowych. Zarejestrowane, mogą być także eksportowane na zewnętrzny nośnik pamięci w celu poddania analizie w innych systemach informatycznych.

Na rys. 3. przedstawiono przykładowy wygląd ekranu panelu operatorskiego.



Rys. 3. Przykładowy wygląd ekranu panelu operatorskiego [mat. firmy JJA Progress]



Rys. 4. Realizacja zintegrowanego systemu sterowania stacji wentylatorów [mat. firmy JJA Progress]

8. WDROŻENIE

Na rys. 4. przedstawiono przykładowe wdrożenie zintegrowanego systemu sterowania stacji wentylatorowej, opracowane i zrealizowane przez firmę JJA Progress przy współudziale autora niniejszego artykułu. Prezentowane rozwiązanie, z różnymi modyfikacjami wykonanymi pod kątem wymagań użytkowników, wdrożono w kilku kopalniach węgla kamiennego i jest eksploatowane bezawaryjnie w trybie pracy ciągłej.

9. PODSUMOWANIE

Zaprezentowany zintegrowany system sterowania stacji wentylatorów głównych umożliwia kompleksową kontrolę stacji i scentralizowane sterowanie wszystkimi elementami wykonawczymi.

Praca wszystkich elementów stacji wentylatorowej pod kontrolą sterowników PLC pozwala na automatyczne przejęcie procesu wentylacji przez wentylator rezerwowy, co ma szczególne znaczenie w związku z kryteriami czasowymi, narzucanymi przez przepisy [6].

Przyjazny interfejs użytkownika oparty na ekranie graficznym z panelem dotykowym umożliwia intuicyjną obsługę oraz udostępnia wizualizację aktual-

nego stanu systemu i przeglądanie danych archiwalnych.

System komunikacyjny w oparciu o sieć Ethernet pozwala na współpracę z zewnętrznymi urządzeniami lub oprogramowaniem typu SCADA.

Wdrożenie systemu zapewnia bezpieczną i wygodną eksploatację, z zachowaniem wszystkich norm i przepisów górniczych.

Literatura

1. Hyla M.: *Blok zasilania wzbudzenia silnika synchronicznego z regulatorem mocy biernej*. „Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering”, 2015, nr 1(521), s. 57-61.
2. Hyla M.: *Automatyczna kompensacja mocy biernej z systemem monitorowania kopalnianej sieci 6 kV*. „Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering”, 2015, nr 2(522), s. 50-55.
3. Kaczmarek T., Zawirski K.: *Układy napędowe z silnikiem synchronicznym*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2000.
4. Plamitzer A.: *Maszyny elektryczne*, WNT, Warszawa 1986.
5. PN-G-05027:2000. *Przewietrzanie podziemnych wyrobisk górniczych – Stacja wentylatorów głównych na powierzchni – Zasady projektowania*.
6. *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych* (Dz.U. z 2002 r., nr 139, poz. 1169 oraz z 2006 r., nr 124, poz. 863).
7. Qin S., Zhang S., Ren G., Zhang C., Zhang J.: *Research on automatic remote monitoring system for the ventilation system in Jinshandian Mine*, Advances in applied sciences and manufacturing, Advances Materials Research, vol. 850-851, 2014, pp. 648-652.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.