

Zdzisław Budzyński, Przemysław Deja
Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice

UKŁAD ZASILANIA I STEROWANIA GÓRNICZEGO WENTYLATORA LUTNIOWEGO Z FUNKCJĄ REGULACJI WYDAJNOŚCI

POWER SUPPLY AND CONTROL SYSTEM OF MINING VENTILATION PIPE FAN WITH THE OUTPUT CONTROL FUNCTION

Streszczenie: Większość stosowanych w polskim górnictwie wentylatorów lutniowych wyposażonych jest w silniki napędowe o mocy 37kW (lub 2x37kW). Są one zasilane z sieci za pośrednictwem wyłączników stycznikowych i pracują ze stałą wydajnością. Zmiany długości lutniociągu wymagają zmiennej wydajności wentylatorów, co można zrealizować poprzez regulację prędkości silnika napędowego. Oferowane na rynku przemienniki częstotliwości, w wykonaniu przeciwybuchowym, przystosowane są do zasilania silników o mocy od 60 kW do 630kW. Ich wadą są: wysoka cena, znaczne gabaryty, jak również konieczność chłodzenia wodą. Uwzględniając powyższe, w Instytucie KOMAG opracowano układ zasilania i sterowania górniczego wentylatora lutniowego, współpracującego z zestawem rozruchowym, z funkcją regulacji prędkości i chłodzeniem konwencjonalnym. Zestaw rozruchowy składa się z zespołu przemiennika ze specjalnym radiatorem, zintegrowanym z wyłącznikiem stycznikowym. W zespole przemiennika znajduje się aparatura do regulacji wydajności wentylatora. Układ spełnia wymagania dla urządzeń stosowanych w przestrzeniach zagrożonych wybuchem wynikające z Dyrektywy ATEX oraz norm zharmonizowanych i jest przystosowany do pracy w podziemnych zakładach górniczych, w wyrobiskach niemetanowych i metanowych ze stopniem „a”, „b” i „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu oraz klasy A i B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego. W artykule przedstawiono budowę zespołu przemiennika częstotliwości oraz przebieg badań funkcjonalnych oraz cieplnych, których celem była ocena poprawności funkcjonowania oraz skuteczności oddawania ciepła (chłodzenia) zespołu przemiennika częstotliwości zasilającego wentylator lutniowy.

Abstract: Most ventilation pipe fans used in Polish mining are equipped with drive motors of 37 kW (or 2x37 kW). They are supplied from mains by contactor switches and operate with constant output rate. Changes in pipeline length require variable output rate of fans, which can be achieved by controlling the drive motor speed. Explosion-proof frequency converters available at the market are adapted to supply motors from 60 kW to 630 kW. Their disadvantages are: a high price, large overall dimensions, and a necessity of water cooling. At the KOMAG Institute, considering the above, the power supply and control system of a mine ventilation pipe fan has been designed. It operates together with a start system, with a speed control function, and conventional cooling. The start system consists of a converter unit with a special radiator integrated with a contactor switch. In the converter unit, there is a device for adjusting the fan output rate. The system meets the requirements for equipment used in potentially explosive atmospheres under the ATEX Directive and harmonized standards, and it is designed to operate in underground mines, in methane and non-methane workings with the "a", "b" and "c" degree of methane explosion hazard and the A and B classes of coal-dust explosion hazard. The frequency converter construction and a course of functional and thermal tests, oriented onto assessing in a function correctness and efficiency of the heat transfer (cooling) of the frequency converter supplying the ventilation pipe fan, is presented in the paper.

Słowa kluczowe: górnictwo, wentylacja, wentylator lutniowy, układ sterowania
Keywords: mining, ventilation, ventilation pipe fan, control system

1. Wstęp

Przewietrzanie podziemnych wyrobisk korytarzowych o długości przekraczającej 50 m powinno być realizowane przy pomocy wentylacji odrębnej. Wymaga ona odpowiedniego zaprojektowania i zabudowy lutniociągów oraz wentylatorów lutniowych, w celu przewietrza-

nia wyrobisk ślepych (np. udostępniających czy przygotowawczych).

Strumień powietrza doprowadzany do przodka winien zapewniać pracującej załodze odpowiedni komfort pracy, poprzez odpowiedni skład powietrza, jego temperaturę, wilgotność

oraz ilość. Chodzi szczególnie o rozrzedzenie, do wartości dopuszczalnych, gazów tworzących się podczas drażenia wyrobiska podziemnego (bądź też wydzielających się z górotworu) oraz ich usunięcie w wymaganym okresie czasu. Z uwagi na coraz większą głębokość prowadzenia robót górniczych ważna jest również temperatura i wilgotność w wyrobisku. Dodatkowo, w przypadku drażenia wyrobiska kombajnem chodnikowym, lutniociąg powinien być wyposażony w urządzenie odpylające. Systemy rozwiązań projektowych wentylacji odrębnej są ogólnie znane i zostały opisane w dostępnej literaturze. W klasycznych rozwiązaniach kopalnianych wentylatorów lutniowych do ich napędu wykorzystuje się silniki indukcyjne klatkowe o mocach do 132 kW i prędkości znamionowej 3000 obr/min. Są one zasilane z sieci kopalnianej 500 V lub 1000 V. Wentylatory lutniowe stosowane do przewietrzania drażonego chodnika powinny być dostosowane do zmiennej wydajności wynikającej z wydłużania lutniociągu wraz z postępem drażenia wyrobiska korytarzowego. Z uwagi na fakt, że moc zainstalowana wentylatora jest dostosowana do maksymalnej długości lutni, w początkowej fazie drażenia wyrobiska zasadne jest jej ograniczenie.

W 2008r. w Instytucie KOMAG opracowano wersję wentylatorów lutniowych napędzanych silnikami dwubiegowymi, w celu poprawy komfortu pracy (zmniejszenie hałasu oraz nadmiernego przepływu powietrza w początkowej fazie drażenia chodnika). Zastosowany napęd dwubiegowy pozwolił uzyskać ponadto efekty w postaci ograniczenia zużycia energii elektrycznej. Nowocześniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie przemiennika częstotliwości pozwalającego na płynną regulację prędkości silnika od 0-3000 obr/min, w zależności od wymaganej wydajności. Oferowane na rynku przemienniki częstotliwości, w wykonaniu ognioszczelnym, przystosowane są do zasilania silników o mocy od 60 kW do 630 kW. Ich wadą są znaczne gabaryty, jak również konieczność chłodzenia wodą.

W 2013r. przeprowadzono badania rynku, w zakresie systemów wentylacji wyrobisk korytarzowych drażonymi kombajnami chodnikowymi w kopalniach węgla kamiennego, w aspekcie mocy zainstalowanych i napięcia zasilania wykazały, że zakres stosowanych mocy silników wentylatorów lutniowych wynosi od 1,5 kW do 132 kW [2]. Liczba wenty-

latorów lutniowych z silnikami o mocy zainstalowanej do 55 kW stanowi 75% wszystkich stosowanych, które w większości zasilane są napięciem 500 V. Prowadzone przez Instytut Techniki Górniczej KOMAG prace nad stworzeniem systemu regulacji wydajności, opartego na przemienniku częstotliwości, z odprowadzeniem ciepła za pośrednictwem radiatora stalowego, nie zakończyły się wówczas sukcesem. W ramach współpracy Instytutu Techniki Górniczej KOMAG z firmami APATOR-MINING, GABRYPOL oraz ENEL opracowano oraz wykonywano model badawczy zespołu przemiennika częstotliwości z funkcją regulacji prędkości, do zasilania i sterowania wentylatorów lutniowych, na napięcie 500 V.

2. Zespół przemiennika częstotliwości

Opracowany i wykonany model badawczy zespołu przemiennika częstotliwości (rys.1) składa się z:

- obudowy ognioszczelnej, z pokrywą na zawiasach, z radiatorem miedzianym,
- wyposażenia elektrycznego zabudowanego wewnątrz obudowy.



Rys. 1. Model badawczy zespołu przemiennika częstotliwości [3]

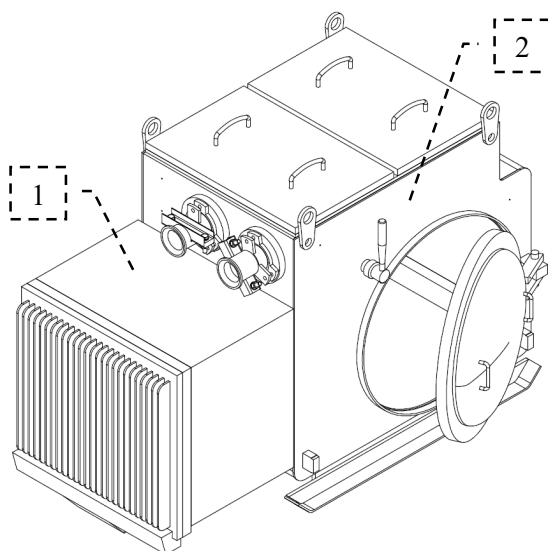
Pokrywa ognioszczelna, stanowiąca radiator, składa się z dwóch części: płyty wewnętrznej, na której zabudowano przemiennik oraz zewnętrznej w postaci uźbrowanej płyty. Obie części są połączone za pomocą lutowania. Uźbrowana płyta pokrywy miedzianej tworzy złącze ognioszczelne z osłoną stalową, za pomocą

połączeń śrubowych. Dodatkowo płyta miedziana jest mocowana na zawiasach [4].

W skład wyposażenia elektrycznego modelu badawczego zespołu przemiennika częstotliwości wchodzi podzespoły takie jak: przemiennik częstotliwości, kondensatory, dławik, separator, izolatory przepustowe oraz przewody elektryczne. Sterowanie zespołem przemiennika odbywa się z zewnętrznego sterownika, za pośrednictwem iskrobezpiecznego separatora magistrali CAN, zasilanego napięciem 42V. Zespół przemiennika umożliwia zasilanie oraz sterowanie silnika elektrycznego na napięciu 500V w zakresie od 0 do 50Hz. Zespół przemiennika częstotliwości przystosowany jest do połączenia mechanicznego oraz elektrycznego z obudową ognioszczelną O3-AM oraz jej wyposażeniem elektrycznym tworząc zestaw aparaturowy (rys.2). W tabeli 1 przedstawiono podstawowe dane znamionowe zespołu przemiennika częstotliwości.

Tabela 1. Dane znamionowe zespołu przemiennika częstotliwości [3]

Napięcie zasilania	3x500 V; 50 Hz
Rodzaj sieci zasilającej	IT
Max prąd odpływu	90 A
Napięcie pomocnicze	42 V
Zakres regulacji	0 – 50 Hz
Masa	200 kg



Rys. 2. Zestaw aparaturowy z funkcją regulacji prędkości 1) zespół przemiennika częstotliwości, 2) obudowa ognioszczelna O3-AM [2]

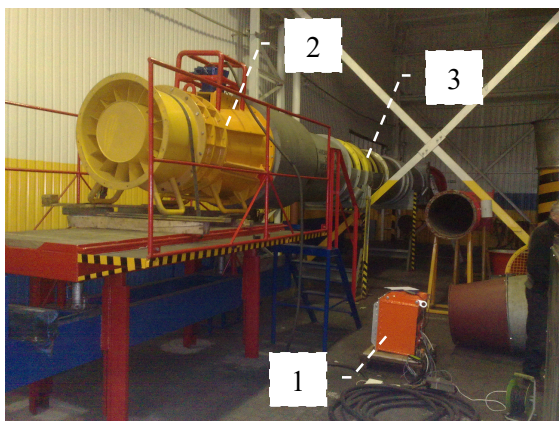
Przemiennik częstotliwości zaprojektowano zgodnie z wymaganiami dla urządzeń stosowanych w przestrzeniach zagrożonych wybuchem,

wynikającymi z Dyrektywy ATEX oraz norm zharmonizowanych i przystosowano do pracy w podziemnych zakładach górniczych, w wyrobiskach niemietanowych i metanowych ze stopniem „a”, „b” lub „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu oraz klasy A lub B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego.

3. Badania stanowiskowe

Celem badań była ocena poprawności funkcjonowania oraz skuteczności oddawania ciepła (chłodzenia) zespołu przemiennika częstotliwości zasilającego silnik wentylatora lutniowego. Wentylator zabudowano na stanowisku badawczym wraz z lutnią. Badania przeprowadzono w dwóch etapach. W pierwszym etapie badania zespołu przemiennika częstotliwości wykonano na stanowisku badawczym w Instytucie KOMAG, z jednobiegowym wentylatorem z lutnią typu WWG-1000/37/P o mocy znamionowej 37 kW. Z charakterystyki wentylatora wynikało, że istnieje celowość stosowania regulacji wydajności w zakresie prędkości silnika napędowego od 1200 do 2700 obr/min. (regulacja częstotliwości zasilania przemiennika w przedziale 20-45 Hz). Po przekroczeniu górnej granicy częstotliwości, dalsza regulacja prędkości nie powoduje już znaczących zmian w wydajności wentylatora, jedynie generuje ciepło. W związku z powyższym należy przejść na zasilanie z sieci. Badanie wykonano przy obciążonym silniku napędowym i napięciu zasilającym 500 V o częstotliwości 45 Hz. W czasie badań temperatura otoczenia utrzymywała się na stałym poziomie 19,5 °C. Spiętrzenie zmierzone na lutniociągu wyniosło 1800 Pa. Badania poprzedzono pomiarem spiętrzenia, które wyniosło 2200 Pa dla zasilania wentylatora napięciem 500 V o częstotliwości 50 Hz. Z wyników badań wynikało, że jest możliwa współpraca modelu zespołu przemiennika częstotliwości z wentylatorem o mocy 37 kW w zakresie częstotliwości do 45 Hz, przy prądzie obciążenia 34 A. Maksymalna zarejestrowana temperatura modelu przemiennika częstotliwości nie przekroczyła dopuszczalnej wartości wynoszącej 75 °C. W drugim etapie przeprowadzono badania modelu zespołu przemiennika częstotliwości z wentylatorem EL-MECH-WLE-1255B-/E/1 z lutnią, wyposażonym w silnik dwubiegowy typu dSOKgse 200L4/2N o mocy znamionowej 12/55 kW. Badania przeprowadzono na stanowisku badaw-

czym w firmie ELMECH-KAZETEN w Czeldzi (rys.3).



Rys. 3. Stanowisko badawcze 1) model badawczy zespołu przemiennika częstotliwości (wraz z aparaturą sterowniczą i pomiarową), 2 wentylator lutniowy, 3) lutnia [2]

W tabeli 2 przedstawiono dane znamionowe wentylatora lutniowego, natomiast w tabeli 3 dane znamionowe silnika.

Tabela 2. Dane znamionowe wentylatora lutniowego ELMECH-WLE-1255B/E/1 [5]

Wydajność nominalna	bieg I	5,83 m ³ /s
	bieg II	12,5 m ³ /s
Spiętrzenie nominalne	bieg I	890 Pa
	bieg II	3300 Pa
Moc wentylatora	bieg I	12,6 kW
	bieg II	55 kW
Średnica lutni	800, 1000, 1200mm	
Masa wentylatora	1191 kg	

Tabela 3. Dane znamionowe silnika [5]

Typ	dSOKgse 200L4/2N
Moc znamionowa	12,6 / 55 kW
Częstotliwość	50 Hz
Napięcie znamionowe	500 V
Prąd znamionowy	24,4 / 80 A
Prędkość obrotowa	1500/3000 obr/min

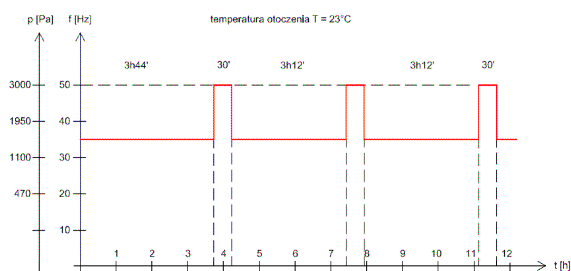
Model badawczy zespołu przemiennika zasilono z sieci IT, 3x500 V; 50 Hz, do którego podłączono uzwojenia drugiego biegu silnika o mocy 55 kW. Napięcie pomocnicze do sterowania przemiennika 42 V uzyskano za pomocą transformatora zasilanego z sieci 230 V; 50 Hz. Badania temperaturowe modelu badawczego zespołu przemiennika częstotliwości przeprowadzono w różnych konfiguracjach usytuowania przemiennika częstotliwości. Wykonano 8 cykli badań w zakresie regulacji częstotliwości od 30 Hz do 45 Hz.

4. Omówienie wyników badań

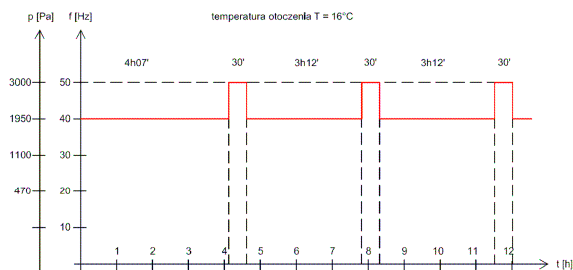
W wyniku przeprowadzonych badań stanowiskowych w etapie pierwszym stwierdzono poprawne działanie układu regulacji prędkości silnika wentylatora. Współpraca modelu zespołu przemiennika częstotliwości z wentylatorem o mocy 37 kW; 500 V była możliwa w założonym zakresie częstotliwości do 45 Hz, przy prądzie obciążenia 34 A. Maksymalna zarejestrowana temperatura modelu przemiennika częstotliwości nie przekroczyła wartości 75 °C. Z przeprowadzanych badań w drugim etapie wynika, że praca ciągła zespołu przemiennika częstotliwości z wentylatorem o mocy 55 kW; 500 V jest możliwa:

- do częstotliwości 40 Hz napięcia zasilającego, przy zapewnieniu nadmuchu powietrza na radiator, o maksymalnej temperaturze 27 °C i prędkości minimum 0,5 m/s,
- do częstotliwości 35 Hz napięcia zasilającego, dla temperatury otoczenia 16 °C, przy zerowej prędkości przepływu powietrza,
- do częstotliwości 32 Hz napięcia zasilającego, dla temperatury otoczenia 23 °C, przy zerowej prędkości przepływu powietrza.

W innych przypadkach konieczna jest praca cykliczna. Przykładowo, dla temperatury otoczenia 23 °C (rys.4) ciągła praca jest możliwa do częstotliwości 35 Hz, w cyklach ok. 3,5 godz. (praca z przemiennikiem), następnie 0,5 godz. schłodzenie przemiennika (silnik zasilany z sieci 50 Hz). W temperaturze otoczenia 16 °C (rys.5) ciągła praca jest możliwa do częstotliwości 40 Hz, w cyklach ok 3,5 godz. (praca z przemiennikiem), następnie 0,5 godz. praca bez przemiennika (50 Hz).



Rys. 4. Praca cykliczna zespołu przemiennika częstotliwości w temperaturze otoczenia 23 °C [1]



Rys. 5. Praca cykliczna zespołu przemiennika częstotliwości w temperaturze otoczenia 16°C [1]

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdziły skuteczność odprowadzania ciepła do atmosfery z przemiennika częstotliwości poprzez płytę miedzianą z radiatorem, dla zainstalowanej mocy 37 kW oraz z ograniczeniami dla mocy 55 kW. Stwierdzono poprawne działanie układu regulacji prędkości silnika, w założonym zakresie wydajności wentylatora. Opracowany układ umożliwia automatyczną regulację wydajności w funkcji wymaganych parametrów wentylacyjnych oraz samoczynne przełączenie na zasilanie z sieci, po przekroczeniu dopuszczalnej temperatury przemiennika. Układ zasilania i sterowania może również współpracować z czujnikami metanu. Po przekroczeniu ustalonego na czujniku poziomu stężenia, w trybie pracy z regulacją wydajności, następuje automatyczne przełączenie na zasilanie z sieci i praca wentylatora z maksymalną wydajnością. Obniżenie poziomu stężenia metanu spowoduje powrót do pracy w trybie regulacji wydajności.

Możliwa jest również kontrola prędkości przepływu powietrza. Anemometr skrzydełkowy, włączony w obwód sterowania, kontroluje na bieżąco prędkość przepływu powietrza. W przypadku wystąpienia wartości przepływu powietrza poniżej wymaganej, automatycznie zwiększana jest prędkość obrotowa silnika wentylatora.

Ewentualne awarie powstałe w układzie regulacji wydajności spowodują samoczynne przełączenie silnika wentylatora na zasilanie z sieci kopalnianej.

6. Literatura

[1]. Budzyński Z., Deja P., Gołębek L., Konsek R.: „Badania cieplne obudowy zespołu ZPC-1 przy współpracy z wentylatorem lutniowym z silnikiem o mocy 55kW.” Praca statutowa ITG KOMAG 2015 (niepublikowana).

[2]. Budzyński Z., Deja P., Gołębek L.: „Badania cieplne oraz wytrzymałościowe obudowy” Praca statutowa ITG KOMAG 2014 (niepublikowana).

[3]. Budzyński Z., Deja P., Konsek R.: „Badania rynku w zakresie systemów wentylacji wyrobisk korytarzowych drążonymi kombajnami chodnikowymi w kopalniach węgla kamiennego” Praca statutowa ITG KOMAG 2013 (niepublikowana).

[4]. Budzyński Z., Deja P., Gołębek L., Kurpiel W., Konsek R., Pieczora E., Polnik B.: „Osłona przeciwybuchowa zintegrowana z radiatorem miedzianym” Zgłoszenie wzoru użytkowego. Nr zgłoszenia W 124 047.

[5]. Strona internetowa: <http://elmech-kazeten.pl/>

Autorzy

mgr inż. Zdzisław Budzyński

mgr inż. Przemysław Deja

Instytut Techniki Górniczej KOMAG

ul. Pszczyńska 37

44-101 Gliwice

e-mail: zbudzynski@komag.eu,

e-mail: pdeja@komag.eu