

# Implementacja przemienników częstotliwości w napędach górniczych wentylatorów lutniowych typoszeregu WLE

Artur Kozłowski, Janusz Broł, Tomasz Gąsior, Radosław Sadowski, Zbigniew Krawczyk

## 1. Wprowadzenie

Postępujący ciągły proces rozwoju górnictwa pociąga za sobą coraz to nowsze rozwiązania techniczne zarówno elektryczne, jak i mechaniczne. W dziedzinie wentylacji odrębnej – przewietrzanie wyrobisk przodkowych – stosowane są wentylatory o coraz większej mocy, pobierające jednocześnie coraz więcej energii elektrycznej z sieci. Jednak nie zawsze jest potrzeba ich pracy przy pełnej wydajności. W przypadku często zdarzającego się przewymiarowania wentylatorów bądź podczas przerw w pracy możliwe jest zmniejszenie wydajności wentylatora. Najlepszym zaś sposobem zmniejszenia wydajności jest obniżenie prędkości obrotowej, które równocześnie może być źródłem znacznych oszczędności ekonomicznych.

## 2. Wentylator lutniowy


Wentylator lutniowy elektryczny typu WLE, np. WLE-1005B/1/CZ, jest wentylatorem przeznaczonym do odrębnej wentylacji ssącej lub tłoczącej w podziemnych zakładach górniczych, w których występuje zagrożenie metanowe oraz zagrożenie wybuchu pyłu węglowego. Wentylator taki spełnia zasadnicze wymagania dyrektywy 94/9/WE ATEX i jest urządzeniem grupy I kategorii M2.

Głównym parametrem wentylatora lutniowego jest wydajność, to jest objętość powietrza przepływającego w jednostce czasu przez przekrój wlotowy wentylatora.

Odpowiednia ilość powietrza, która przepływa przez wentylator, przetłaczana jest lutniociągiem do miejsca wylotu tegoż powietrza. Aby przetłoczyć powietrze przez wymaganą długość lutniociągu (opory aerodynamiczne), wentylator musi wytworzyć odpowiednie spiętrzenie powietrza. Reasumując, wentylator podłączony do lutniociągu nadaje przetłaczanemu powietrzu dwa podstawowe parametry: przepływ (wydajność) i spiętrzenie.

Dla poszczególnych obszarów podziemi kopalń przepisy górnicze określają, jaką ilość powietrza w danym czasie należy dostarczyć lub odprowadzić – jest to tak zwana wentylacja odrębna. Dozór górniczy dobiera parametry wentylatora lutniowego tak, aby spełnić te przepisy. Warunki ilości przetłaczanego powietrza pozwalają na bezpieczną eksploatację urządzeń i pracę operatorów w podziemiach kopalni.

Standardowy wentylator lutniowy, np. wspomniany powyżej WLE-1005B/1/CZ, obsługujący wentylację odrębną, pracuje w sposób ciągły i dostarcza stałą ilość powietrza niezależnie od zapotrzebowania.

 **Abstract:** *The progressive development of a continuous process of mining involves newer technology both electrical and mechanical. In the field of a separate ventilation – ventilation workings of face, fans are used more and more powerful, while collecting more and more electricity from the grid. However, there is always a need for their work at full capacity. For frequently occurs the oversize fans, or during breaks at work, it is possible to decrease in fan efficiency. The best way to reduce the efficiency is to reduce rotational speed, which at the same time can be a source of significant economic savings.*

Zgodnie z przepisami istnieją takie okresy czasu, kiedy można znacznie zmniejszyć ilość przetłaczanego powietrza do poszczególnych wyrobisk. Optymalnym sposobem zmniejszenia wydajności wentylatora jest obniżenie prędkości obrotowej. Wentylator przetłaczający mniejszą ilość powietrza pobiera mniej energii elektrycznej, a to przekłada się na niższe koszty eksploatacji wentylatora.

W związku z takimi możliwościami prowadzenia odrębnej wentylacji od pewnego czasu w wentylatorach stosuje się silniki pozwalające na pracę wentylatora przy dwóch prędkościach obrotowych – np. 3000 i 1500 obr./min. W ostatnim zaś czasie prowadzone są prace mające na celu zastosowanie do zasilania silnika wentylatora przemiennika częstotliwości, umożliwiającego regulację prędkości wentylatora w pełnym zakresie.

## 3. Oszczędności energii

W przypadku zbyt dużej wydajności wentylatora w stosunku do zapotrzebowania optymalnym sposobem jej zmniejszenia, jest zmiana prędkości obrotowej wentylatora. Obniżenie prędkości wentylatora powoduje zmniejszenie mocy pobieranej przez jego napęd. Dla wentylatora moc pobierana przez napęd zmniejsza się proporcjonalnie do trzeciej potęgi prędkości obrotowej silnika. Wprowadzenie układu umożliwiającego regulację prędkości obrotowej wentylatora napędzanego silnikiem o mocy 37 kW pozwoli na zmniejszenie poboru mocy w zależności od stopnia obniżenia prędkości oraz od mocy pobieranej przez napęd wentylatora przy prędkości znamionowej. Zakładając, że moc pobierana przez napęd przy prędkości znamionowej  $n_{\max} = n_N$  wynosi

$$P_{\max} = 37 \text{ kW}$$

podczas pracy z prędkością minimalną  $n_{\min} = 0,5 n_N$ , napęd będzie pobierał już tylko moc około

$$P_{0,5} = 4,6 \text{ kW} \approx 5 \text{ kW}$$

Zatem zmniejszenie poboru mocy wyniesie

$$\Delta P_{0,5} \approx P_{\max} - P_{0,5} = 32 \text{ kW}$$

co dałoby dobowe oszczędności energii elektrycznej

$$\Delta E_d \approx 24 \times 32 = 768 \text{ kWh}$$

oraz roczne oszczędności energii elektrycznej

$$\Delta E_r \approx 365 \times 768 \approx 280\,000 \text{ kWh/rok}$$

Należy jednak zwrócić uwagę, że obniżenie prędkości obrotowej wentylatora powoduje zmniejszenie jego wydajności (liniowo z prędkością) oraz spiętrzenia wentylatora, proporcjonalnie do kwadratu zmniejszenia prędkości

$$\left(\frac{n}{n_N}\right)^2$$

zaś efektem tego jest zmniejszenie poboru mocy przez silnik napędowy wentylatora.

Praca wentylatora z prędkością  $0,5 n_N$  powoduje znaczne obniżenie wydajności, a zwłaszcza spiętrzenia wentylatora, i rzadko występuje taka potrzeba. Można przyjąć, że najczęściej silnik wentylatora będzie pracował z prędkością około 0,7 mocy znamionowej. Wtedy moc pobierana przez napęd przy tej prędkości ( $n = 0,7 n_N$ ) będzie wynosiła

$$P_{0,7} \approx 13 \text{ kW}$$

Zatem zmniejszenie poboru mocy wyniosłoby

$$\Delta P = 24 \text{ kW}$$

zaś roczne oszczędności energii wyniosłyby wtedy

$$\Delta E_r \approx 210\,000 \text{ kWh}$$

Należy podkreślić, że wentylatory lutniowe stosowane w górnictwie ze względów bezpieczeństwa pracują (muszą pracować) przez 24 godziny na dobę, przez wszystkie dni roku i dlatego oszczędności energii należy odnosić do całego okresu ich pracy.

Wyliczone powyżej efekty są przybliżone i nie uwzględniają między innymi pogorszenia sprawności urządzeń (wentylatora, silnika) pracujących przy obniżonej prędkości (mocy). Dają one jednak pewien pogląd na rząd wielkości możliwych do osiągnięcia oszczędności.

Wyżej przedstawione wyliczenia oszczędności pokrywają się z parametrami zmierzonymi w czasie prób wentylatora zasilanego z przemiennika częstotliwości. Dla wentylatora lutniowe-

go elektrycznego WLE-1005B/1/CZ jego parametry zależnie od prędkości obrotowej kształtują się następująco:

Prędkość obrotowa [obr./min.]	$n1 = 3000$	$n2 = 1500$
Wydajność [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	$V1 = 11$	$V2 = 5,5$
Spiętrzenie całkowite [Pa]	$\Delta p_{c1} = 7600$	$\Delta p_{c2} = 1900$
Moc pobierana [kW]	$P1 = 37,0$	$P2 = 4,6$

Możliwość regulacji wydajnością wentylatorów lutniowych spotyka się z dużym zainteresowaniem ze strony ich użytkowników. W związku z tym prowadzone są dalsze prace związane z regulacją prędkości obrotowej silnika elektrycznego wentylatora poprzez zastosowanie przemiennika częstotliwości. Przeźmiennik umożliwia płynną regulację prędkości obrotowej silnika elektrycznego wentylatora, co pozwala na uzyskiwanie różnych wydajności tegoż wentylatora zależnie od potrzeb wentylacji.

Możliwość regulacji prędkości silnika wentylatora poprawia także warunki jego rozruchu. Podczas rozruchu wentylatora lutniowego zasysającego powietrze z lutni następuje zjawisko gwałtownego wzrostu podciśnienia – im dłuższa lutnia, tym podciśnienie wzrasta gwałtowniej. Związane jest to z bezwładnością zasysanego powietrza z lutniociągu. Konsekwencją tego zjawiska jest niebezpieczeństwo odkształcenia lutni, które występuje szczególnie przy zastosowaniu lutni elastycznych. W związku z tym najlepszym rozwiązaniem rozruchu wentylatora jest łagodne zwiększanie prędkości obrotowej silnika, poprzez zastosowanie przemiennika.

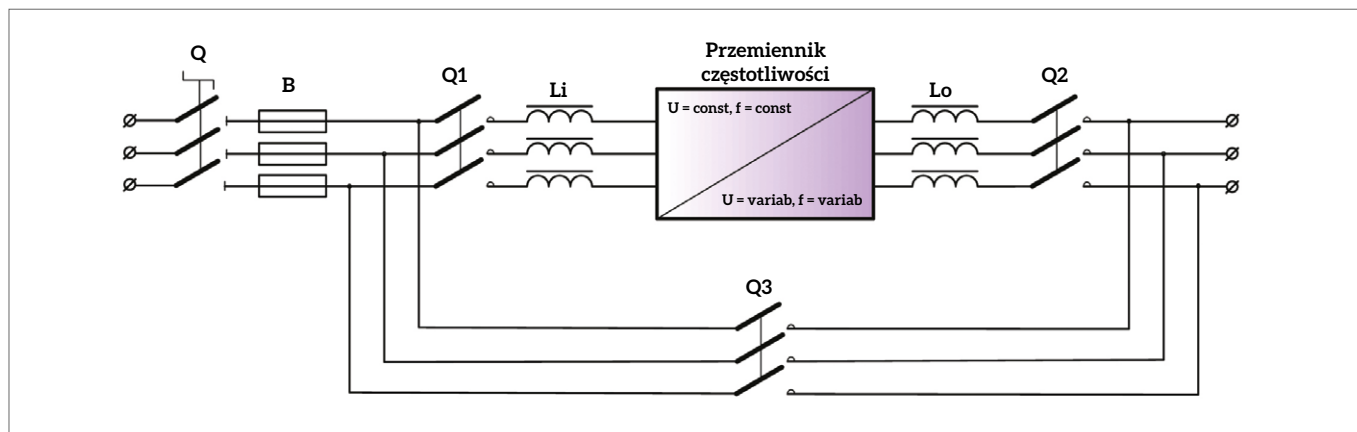
Możliwość uzyskania takiej wydajności wentylatora, jaka w danej chwili jest potrzebna, staje się coraz bardziej pożądanym rozwiązaniem w wentylacji lutniowej. Ten sposób zasilania wentylatora może być stosowany w wentylacji ssącej, w której powietrze przepływa ze strefy przodkowej do prądu opływowego, tłoczącej, jak też kombinowanej.

Wykorzystanie przemiennika w regulacji wydajności wentylatora, oprócz oczywistych korzyści technicznych, w długofalowym okresie pociąga za sobą także korzyści ekonomiczne, poprzez zmniejszenie zużycia energii elektrycznej czynnej, a także biernej.

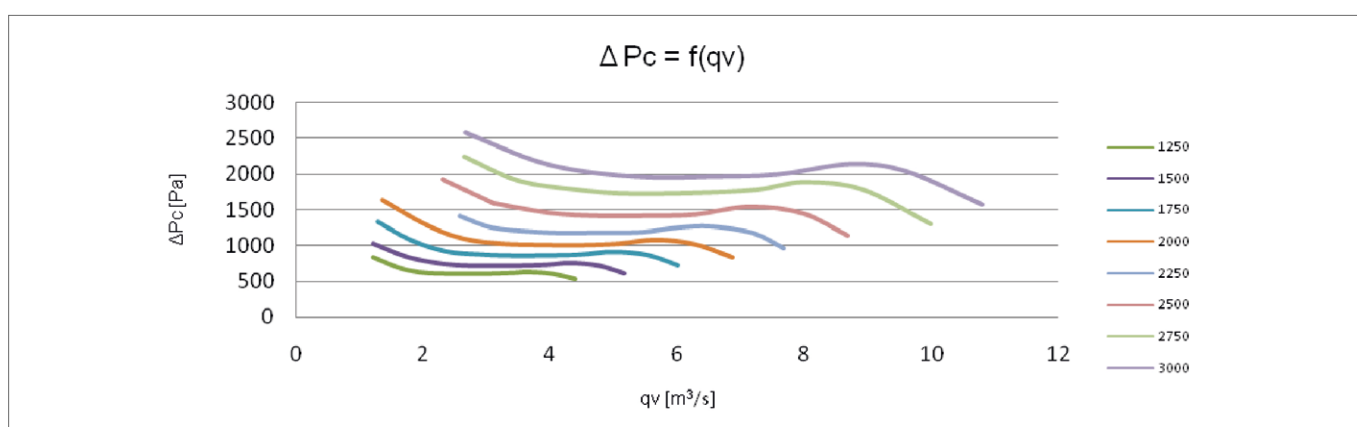
#### 4. Zespół zasilający z przemiennikiem częstotliwości

W Instytucie Technik Innowacyjnych EMAG został opracowany prototyp zespołu zasilającego typu OZZ 45. Urządzenie przeznaczone jest do zasilania i regulacji silników prądu przemiennego o napięciu  $3 \times 500\text{V}$ . W górnictwie węglowym może być stosowane do zasilania wentylatorów lutniowych, pomp i innych urządzeń, w których istnieje potrzeba regulowania prędkości obrotowej. Zespół zasilający jest urządzeniem grupy I, kategorii M2. Urządzenie przeznaczone jest do pracy w podziemiach kopalni metanowych i niemietanowych zaliczanych do stopnia „a”, „b”, „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu oraz do pomieszczeń klasy „A” i „B” zagrożenia wybuchem pyłu węglowego. Głównym elementem urządzenia jest przemiennik częstotliwości, umożliwiający regulację prędkości obrotowej silnika w granicach 0–1,1 nN. Ponadto urządzenie posiada rezystorowy moduł hamujący, dzięki któremu można:

- załączać silnik w trakcie wybiegu;
- wykonywać szybkie zmiany prędkości;
- wykonywać szybką rewersję silnika, gdy wirnik jest w ruchu.



Rys. 1. Schemat obwodów siłowych zespołu zasilającego z przemiennikiem częstotliwości



Rys. 2. Wyniki pomiarów w funkcji wydajności dla lutniociągu  $\varnothing = 800$  mm

Zespół zasilający w przypadku awarii przemiennika częstotliwości umożliwia pracę obejściową, z pełną prędkością. Silnik pracuje wtedy na naturalnej charakterystyce  $n = f(M)$ . Opracowany i wykonany w Instytucie EMAG zespół OZZ 45 posiada następujące parametry:

- napięcie znamionowe zasilania:  $3 \times 500$  V;
- prąd znamionowy przy pracy z przemiennikiem: 60 A;
- prąd znamionowy przy pracy obejściowej: 90 A;
- ilość odplywów głównych: 1;
- maksymalna znam. moc silnika przy pracy z przemiennikiem: 45 kW;
- maksymalna znam. moc silnika przy pracy obejściowej: 60 kW;
- przeciążalność prądowa przy pracy z przemiennikiem: 1,5 przez 60 s.
- częstotliwość napięcia zasilania: 50 Hz;
- napięcie znamionowe wyjściowe: 0–500 V;
- częstotliwość napięcia wyjściowego: 0–60 Hz;
- stopień ochrony: IP54;
- rodzaj sterowania: lokalnie;
- masa: 900 kg.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat zespołu OZZ 45.

Zespół zasilający realizuje wszystkie wymagane zabezpieczenia, takie jak:

- przeciążeniowe;
- zwarciove.

Powyższe zabezpieczenia realizowane są w przemienniku częstotliwości. Oprócz tego zespół posiada zabezpieczenia:

- upływowe;
- ciągłości przewodu ochronnego.

Istnieje także sygnalizacja faz na zaciskach rozłącznika, za pomocą diod świecących. Podczas pracy obejściowej poprzez kompaktowe zabezpieczenie silnikowe realizowane są te same zabezpieczenia co powyżej oraz:

- zabezpieczenie przed zmianą kolejności faz zasilających;
- zabezpieczenie przed nierównomiernym obciążeniem faz i zanikiem napięcia zasilającego;
- zabezpieczenie przed utknięciem silnika.

Oprócz tego w obydwu trybach pracy zespół zasilający posiada kontrolę temperatur w trzech punktach silnika. Pomiar temperatur realizowany jest w obwodzie iskrobezpiecznym i jego sygnał poprzez bariery iskrobezpieczne wchodzi na wejście analogowe sterownika mikroprocesorowego, umożliwiając wyłączenie odbiornika w przypadku przekroczenia jego temperatury przegrzania. Zespół zasilający umieszczony został w obudowie ognioszczelnej.

## 5. Przeprowadzone badania

W ramach udoskonalania funkcjonowania wentylatorów lutniowych zasilanych z przemiennika częstotliwości pod koniec 2013 roku na terenie zakładowej stacji kontroli prób wentylato-

rów firmy Stalkowent zostały przeprowadzone próby wentylatora WLE-1005B/1/CZ. Podczas tych prób silnik wentylatora był zasilany z zespołu zasilającego typu OZZ 45 produkcji EMAG, wyposażonego w przemiennik częstotliwości.


Parametry wentylatora były mierzone w zakresie prędkości silnika 1250, 1500, 1750, 2000, 2250, 2500, 2750 i 3000 [obrotów/min]. Wyniki pomiarów w funkcji wydajności dla lutniociągu  $\varnothing = 800$  mm przedstawione zostały na rys. 2.

## 6. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- Najlepsze parametry wentylatora są uzyskiwane przy prędkości 3000 [1/min] – co wynika z faktu, że optymalna sprawność uzyskiwana jest dla nominalnego punktu pracy.
- Regulację wydajności wentylatora przez zmianę prędkości w zakresie od 1250 do 3000 obr./min. można uznać za optymalną przy regulacji wentylatora za pomocą przemiennika częstotliwości.
- Regulacja wentylatora za pomocą przemiennika częstotliwości pozwala na płynne zmiany wydajności i spiętrzenia w zakresie poniżej katalogowych parametrów pracy, dzięki czemu jest rozwiązaniem bardziej konkurencyjnym w stosunku do stosowania wentylatorów dwubiegowych, dla których praca na niższym biegu odpowiada znacznie niższym wartościom spiętrzenia i wydajności niż dla biegu wyższego.

- Dla wszystkich częstotliwości nie obserwowano przekroczeń mocy dopuszczalnej silnika, a wraz ze zmniejszeniem częstotliwości napięcia zasilającego moc spada.
- Umożliwienie łagodnego rozruchu silnika elektrycznego jest bardzo korzystne dla trwałości wentylatora, ponieważ powoduje łagodny start wentylatora.
- Przebiennik częstotliwości wyposażony w moduł hamowania umożliwia szybkie zatrzymanie wentylatora, wyhamowanie silnika elektrycznego.
- W okresach przestojów, świąt itp., gdy nie jest wymagane maksymalne zapotrzebowanie na powietrze, zmniejszenie wydajności wentylatora poprzez regulację obrotów wirnika powoduje dodatkowe zmniejszenie poboru mocy elektrycznej. Zastosowanie przemiennika częstotliwości poprawia warunki rozruchu wentylatora, umożliwia dopasowanie parametrów pracy wentylatora do aktualnych potrzeb, co obniża zużycie energii elektrycznej, zwłaszcza w przypadku zastosowania przewymiarowanego wentylatora.

 dr inż. Artur Kozłowski, mgr inż. Janusz Broł, mgr inż. Tomasz Gąsior – Instytut Technik Innowacyjnych EMAG;  
mgr inż. Radosław Sadowski, mgr inż. Zbigniew Krawczyk – Grupa Powen-Wafapomp SA

artykuł recenzowany