

# Układy regulacji wentylatorów głównego przewietrzania kopalń z silnikami asynchronicznymi zasilanymi z przekształtników częstotliwości i kaskad podsynchronicznych

*Artykuł prezentuje aspekty techniczne i ekonomiczne brane pod uwagę podczas budowy lub modernizacji stacji głównego przewietrzania kopalń. W artykule przedstawiono porównanie kosztów modernizacji napędu wentylatora typu WPK-5,0. Porównano koszty w przypadku zastosowania do napędu wentylatora silnika asynchronicznego pierścieniowego w układzie kaskady podsynchronicznej oraz silnika asynchronicznego klatkowego zasilanego poprzez przekształtnik częstotliwości. Rozróżniono koszty przy zastosowaniu przekształtnika niskonapięciowego jak również przekształtnika na napięcie średnie. Do analizy kosztów wykorzystano oferty cenowe przekształtników różnych firm obecnych na polskim rynku.*

## 1. WSTĘP

---

Układy napędowe wentylatorów głównych przewietrzania kopalń należą do największych odbiorników energii elektrycznej. Ze względu na ich liczbę i zainstalowaną moc napędy te zużywają średnio około 15 % całkowitej energii zużywanej przez kopalnię [1]. Racjonalne wykorzystanie wydajności wentylatorów przewietrzania kopalń pozwala więc na duże oszczędności, zmniejszające sumaryczny koszt wydobycia. Dostosowanie wydajności wentylatorów do zapotrzebowania na powietrze może być realizowane na wiele sposobów. Możliwa jest regulacja wydajności poprzez dławienie przepływu powietrza lub zmianę kąta natarcia łopat wentylatora [2]. Ze względu na charakterystykę sprawności wentylatora wymienione metody regulacji są mało efektywne. Najbardziej efektywna jest regulacja wydajności wentylatora poprzez zmianę jego prędkości obrotowej. Zastosowanie energoelektronicznych układów przekształtnikowych dużej mocy pozwala na regulację amplitudy oraz częstotliwości napięcia zasilającego, a tym samym na regulację prędkości obrotowej silnika napędzającego wentylator.

## 2. STOSOWANE TYPY WENTYLATORÓW GŁÓWNEGO PRZEWIETRZANIA KOPALŃ

---

W kopalniach węgla kamiennego w Polsce wśród dużych wentylatorów głównego przewietrzania stosowane są najczęściej wentylatory typu WPK-3,3, WPK-3,9, WPK-5,0 [3]. Są to wentylatory promieniowe z jednostronnie ssącym wirnikiem. Prosta konstrukcja wentylatorów WPK nie stwarza trudności montażowych oraz zapewnia długotrwałą bezawaryjną eksploatację sięgającą 60000 h. Konstrukcja wentylatora zapewnia cichobieżność oraz wysoką sprawność i szeroki zakres ekonomicznej pracy.

W tabeli 1 jest przedstawiony typoszereg, obecnie produkowanych przez firmę STALKON (dawny POWEN), wentylatorów typu WPK, których moc sięga 2500 kW.

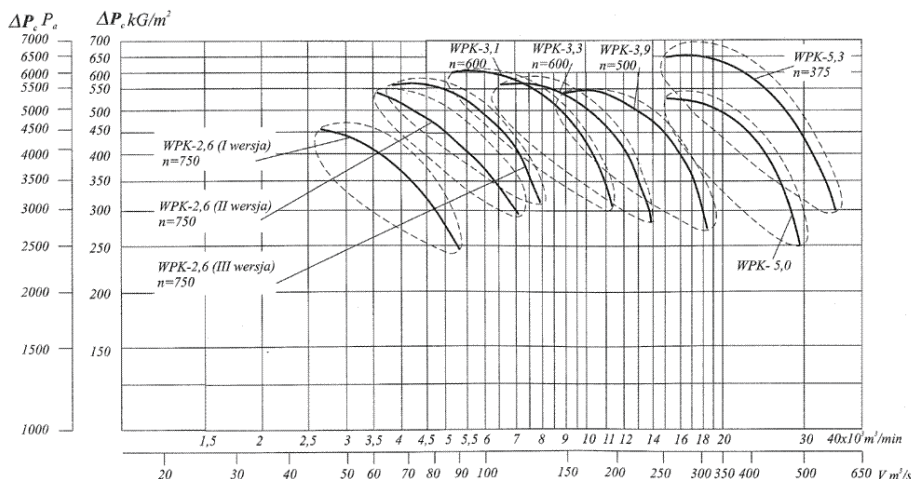
Oprócz szeregu WPK są jeszcze produkowane przez firmę STALKON wentylatory typu WPR, które są wentylatorami promieniowymi z dwustronnie ssącym wirnikiem. Są one jednak rzadziej stosowane, a ich moc nie przekracza 400 kW.

Poza wentylatorami promieniowymi są również produkowane przez firmę STALKON wentylatory

Tabela 1

Typoszereg wentylatorów głównego przewietrzania KWK typu WPK<sup>1</sup>

Typ i wielkość wentylatora	Prędkość obrotowa n [obr./sek.] (obr./min.)	Wydajność V [m <sup>3</sup> /s]	Śpiętrzenie całkowite ΔP <sub>c</sub> [Pa]	Sprawność η	Moc N [kW]	Masa bez silnika m [kg]
WPK 2,6 wersja I	8,33 (500)	45,6	1568	0,85	84	11034
	10,0 (600)	54,7	2259	0,85	145	
	12,5 (750)	68,4	3530	0,85	284	
WPK 2,6 wersja II	8,33 (500)	58,8	1828	0,85	126	13142
	10,0 (600)	70,6	2634	0,85	219	
	12,5 (750)	88,3	4115	0,85	428	
WPK 2,6 wersja III	8,33 (500)	74	1950	0,86	168	13123
	10,0 (600)	88,8	2810	0,86	290	
	12,5 (750)	111,1	4390	0,86	566	
WPK 3,1	8,33 (500)	127,8	3198	0,88	462	21300
	10,0 (600)	153,2	4611	0,88	798	
WPK 3,3	8,33 (500)	150	3139	0,86	547	21705
	10,0 (600)	180,7	4525	0,86	951	
WPK 3,9	5,0 (300)	150	1550	0,86	270	25770
	6,25 (375)	187	2433	0,86	529	
	8,33 (500)	250	4400	0,86	1279	
WPK 5,0	5,0 (300)	292	2904	0,85	992	48300
	6,25 (375)	365	4542	0,85	1939	
WPK 5,3	5,0 (300)	366,6	3139	0,85	1300	50438
	6,25 (375)	458,3	4905	0,85	2540	



Rys. 1. Charakterystyki pracy wentylatorów typu WPK

osiowe typu WOK. Wentylatory te mają przestawne łopatki wirników, co pozwala na regulację parametrów wentylatora. Ich moc nie przekracza 600 kW.

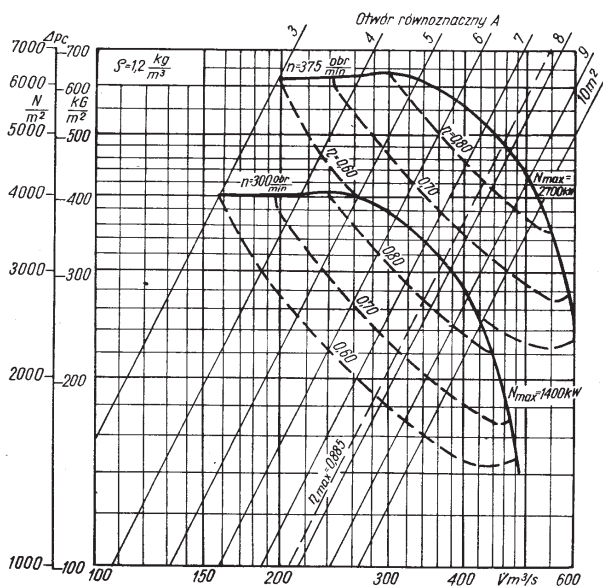
Do napędu wentylatorów szeregu WPK są stosowane silniki o mocach od kilkuset do 2500 kW, co przedstawia tabela 1.

O wyborze wentylatora decyduje przede wszystkim wymagana wydajność i wymagane całkowite spiętrzenie powietrza. Na rys. 1 jest przedstawiony typowy zakres pracy wentylatorów typoszeregu WPK [3].

W szczególności na podstawie charakterystyki przedstawionej na rys. 2 dla wentylatora WPK 5,3 przy prędkości obrotowej  $n = 6,25$  obr/s (375

obr/min) do napędu jest potrzebny silnik o mocy 2700 kW, natomiast przy prędkości obrotowej  $n = 5$  obr/s (300 obr/min.) do napędu tego samego wentylatora jest potrzebny silnik o mocy już tylko 1400 kW. Czyli spadek prędkości obrotowej wentylatora o 20% pociąga za sobą spadek zapotrzebowania na moc napędową o prawie 50%. Wiąże się to oczywiście ze spadkiem wydajności wentylatora, która w analizowanym przypadku, na podstawie charakterystyki wentylatora przedstawionej na rys. 2, wynosi około 20% [3].

<sup>1</sup> Źródło danych - [http://www.stalkon.pl/wentylatory\\_WPKgl.html](http://www.stalkon.pl/wentylatory_WPKgl.html)



Rys. 2. Charakterystyka przepływowa wentylatora typu WPK 5,3

### 3. REGULACJA WYDAJNOŚCI WENTYLATORÓW

Regulacja wydajności wentylatora jest możliwa na kilka sposobów. Każdy sposób regulacji wiąże się z występowaniem charakterystycznych wad i zalet. Poniżej zostaną pokrótce przedstawione najważniejsze sposoby regulacji wydajności.

#### 3.1. Regulacja wydajności poprzez dławienie przepływu powietrza

Jest to najprostszy sposób regulacji wydajności wentylatora, niewymagający żadnych układów regulacji po stronie elektrycznej układu napędowego. Całość procesu regulacji odbywa się po stronie mechanicznej i polega na dławieniu przepływu powietrza przez wentylator poprzez zastosowanie mechanicznych dławnic. Jest to bardzo prosty, ale jednak najbardziej nieekonomiczny sposób regulacji. Na rys. 3 została przedstawiona charakterystyka wydajności wentylatora i zapotrzebowania na moc napędową dla powyższego sposobu regulacji [4].

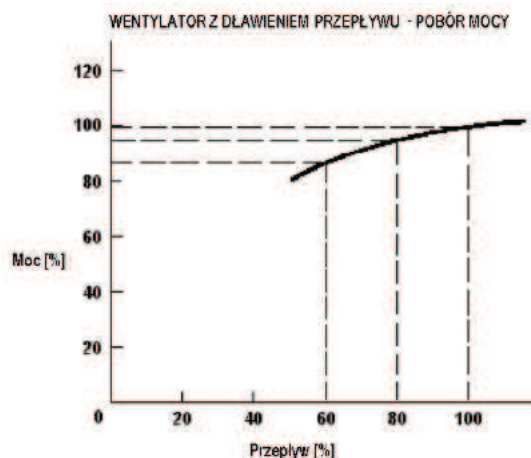
Na podstawie powyższej charakterystyki widać, iż zdławienie przepływu o 50% wiąże się ze zmniejszeniem tylko o 20% zapotrzebowania na moc napędową. Czyli regulacja jest mało ekonomiczna

#### 3.2. Regulacja wydajności poprzez zmianę kąta natarcia łopatek wirnika

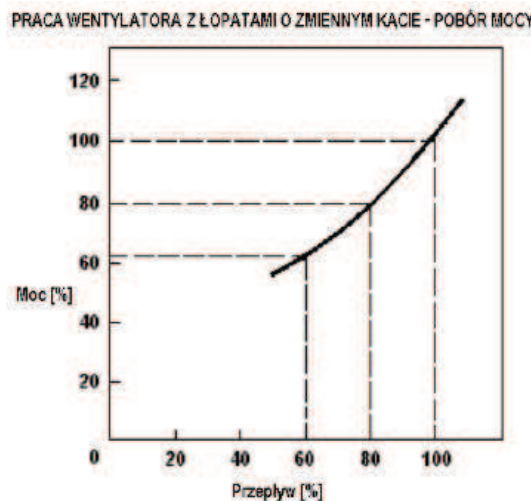
Drugim sposobem regulacji wydajności wentylatora jest regulacja poprzez zmianę kąta natarcia łopatek

wirnika wentylatora. Jest to również regulacja po stronie mechanicznej, charakteryzująca się jednak większą efektywnością niż pierwsza. Jej wadą jest skomplikowana budowa mechaniczna wentylatora.

Na rys. 4 została przedstawiona charakterystyka wentylatora z wirnikiem o zmiennym kącie natarcia łopatek [4]. Na podstawie tej charakterystyki widać, iż zmniejszenie wydajności wentylatora o 50% wiąże się ze zmniejszeniem zapotrzebowania na moc napędową o około 40%. Czyli ten sposób regulacji jest prawie dwukrotnie bardziej efektywny niż pierwszy.



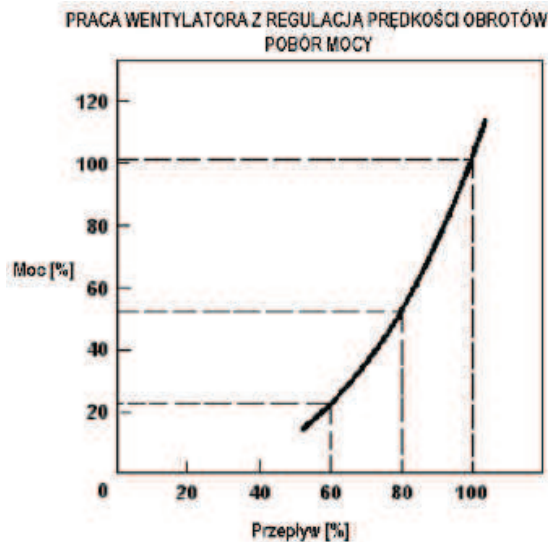
Rys. 3. Charakterystyka wentylatora z dławieniem przepływu



Rys. 4. Charakterystyka wentylatora z łopatkami o zmiennym kącie natarcia

#### 3.3. Regulacja wydajności poprzez zmianę prędkości obrotowej wirnika wentylatora

Jest to najbardziej ekonomiczny sposób regulacji wydajności wentylatora, ponieważ ze zmniejszeniem prędkości obrotowej w trzeciej potędze spada zapotrzebowanie na moc napędową. Ten sposób regulacji



Rys. 5. Charakterystyka wentylatora ze zmienną prędkością obrotową wirnika

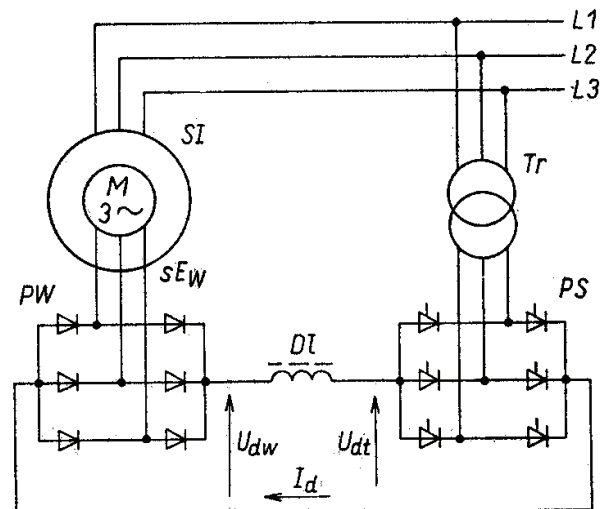
wymaga zastosowania układów energoelektronicznych, których zadaniem jest zmiana prędkości obrotowej silnika napędzającego wentylator.

Na rys. 5 została przedstawiona charakterystyka wentylatora ze zmienną prędkością obrotową wirnika [4].

Na podstawie tej charakterystyki widać, iż zmniejszenie wydajności wentylatora o 50% wiąże się ze zmniejszeniem zapotrzebowania na moc napędową o ponad 80%. Jest to najbardziej ekonomiczny sposób regulacji wydajności wentylatora.

#### 4. REGULACJA PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ WENTYLATORA

Regulacja prędkości obrotowej wirnika wentylatora wymaga regulacji prędkości obrotowej silnika napędzającego wentylator. Jeżeli do napędu wentylatora jest stosowany silnik asynchroniczny pierścieniowy to do zmniejszenia jego prędkości obrotowej poniżej prędkości znamionowej można zastosować tzw. układ kaskady podsynchronicznej, zwanej czasami kaskadą tyrystorową [5,6]. Na rys. 6 jest przedstawiony schemat podstawowy kaskady podsynchronicznej. Istota tego układu polega na zwrocie energii poślizgu silnika asynchronicznego pierścieniowego do sieci zasilającej. Moc elektryczna poślizgu silnika asynchronicznego pierścieniowego jest zamieniana przez prostownik diodowy na moc prądu stałego i dalej w przekształtniku tyrystorowym na moc prądu przemiennego, o stałej amplitudzie i częstotliwości, która za pomocą transformatora dopasowującego jest zwracana do sieci zasilającej.



Rys. 6. Schemat podstawowy kaskady podsynchronicznej

Bardzo często do napędu wentylatorów głównego przewietrzania kopalń są stosowane silniki synchroniczne. Zastosowanie kaskady podsynchronicznej wymaga więc wymiany silnika, a przynajmniej jego wirnika, na pierścieniowy.

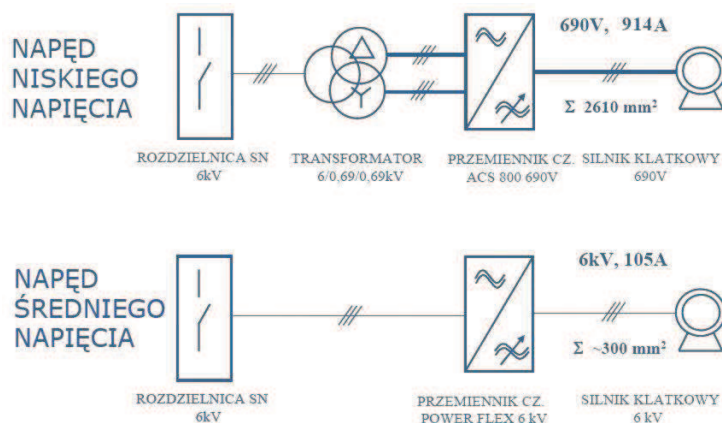
Innym rozwiązaniem jest zastosowanie przekształtnika częstotliwości. Jest to układ droższy od kaskady, ponieważ przekształca on pełną moc doprowadzoną do silnika, a kaskada jedynie moc poślizgu.

Wymagany zakres regulacji prędkości obrotowej silnika napędzającego wentylator zwykle zawiera się w przedziale 60-100% prędkości znamionowej. Kaskada podsynchroniczna umożliwi uzyskanie takiego zakresu regulacji prędkości obrotowej silnika napędowego. Uzyskanie szerszego zakresu regulacji w układzie kaskady jest możliwe, aczkolwiek wiąże się to ze zwiększeniem parametrów napięciowych przekształtnika kaskady, który musi przekształcać większą moc poślizgu. Uzyskanie prędkości nadsynchronicznej w układzie kaskady jest niemożliwe.

W przypadku zastosowania do regulacji prędkości obrotowej silnika napędowego przekształtnika częstotliwości nie ma ograniczeń co do zakresu regulacji i wynosi on 0-100% prędkości znamionowej silnika, a gdy tylko wytrzymałość mechaniczna silnika napędowego i wentylatora na to pozwala może być szerszy i przekraczać prędkość znamionową silnika.

#### 5. DOBÓR SILNIKA NAPĘDOWEGO WENTYLATORA GŁÓWNEGO PRZEWIETRZANIA

Do napędu wentylatorów głównego przewietrzania są potrzebne silniki wolnoobrotowe o mocach od



Rys. 7. Przykład realizacji napędu z przekształtnikiem niskiego i średniego napięcia

setek kilowatów do 2700 kW [7]. W chwili obecnej możliwe są wykonania takich silników, jako niskonapięciowych, na napięcie 690 V. Przy takiej wartości napięcia, do regulacji prędkości obrotowej silnika można stosować niskonapięciowe przekształtniki napięcia, które produkuje wiele firm i które obecnie są już stosunkowo tanie. W przypadku większej mocy do regulacji prędkości obrotowej celowe może być stosowanie przekształtników średnionapięciowych lub transformatorów podwyższających napięcie wraz z przekształtnikami niskonapięciowymi wyposażonymi w filtry sinusoidalne wygładzające napięcie wyjściowe przekształtnika. Cena takich układów jest już jednak o wiele wyższa [8,9,10].

## 6. ANALIZA KOSZTÓW

Przy wyborze konkretnego rozwiązania układu napędowego wentylatora głównego przewietrzania bardzo ważnym kryterium jest całkowity koszt. Na ten koszt składa się, oprócz kosztu inwestycji, w którego skład wchodzi koszt materiałów oraz koszt instalacji, również koszt eksploatacji układu napędowego, który możemy podzielić na koszt energii elektrycznej i koszt serwisu.

Przy analizie kosztu inwestycji należy uwzględnić pełny zakres prac inwestycyjnych związanych z instalacją napędu z przekształtnikiem, a więc również koszty okablowania, rozbudowy przyłącza itd.

Na rys. 7 został przedstawiony przykład realizacji układu napędowego z przekształtnikiem częstotliwości niskiego i średniego napięcia [4].

Porównanie przedstawionych na rys. 7 przykładowych realizacji układów napędowych o tej samej mocy w wykonaniu niskonapięciowym i średnionapięciowym wypada na korzyść napędu średniego napięcia. W przykładowej realizacji układu napędowego

wego niskiego napięcia, konieczne jest zastosowanie dodatkowego transformatora, obniżającego napięcie z rozdzielnic średniego napięcia. Również na niekorzyść napędu niskiego napięcia przemawiają straty w linii niskiego napięcia. Aby straty były niewielkie, zarówno transformator obniżający napięcie, przekształtnik oraz silnik muszą się znajdować blisko siebie. Również potrzebny przekrój przewodów zasilających, podany na rys. 7 łącznie z ekranem, musi być zdecydowanie większy w przypadku napędu niskiego napięcia.

Tak więc całkowity koszt inwestycji w przypadku napędu średniego napięcia może być niższy niż koszt układu napędowego niskiego napięcia o analogicznej mocy. W dużej mierze zależy to od różnicy w cenie przekształtnika na średnie i niskie napięcie. Obecnie ceny przekształtników na średnie napięcie spadają, przy utrzymujących się cenach przekształtników niskiego napięcia. Wybór napędu średniego napięcia staje się więc coraz bardziej ekonomicznie uzasadniony.

Dla przykładu w tabeli 2 zostało przedstawione porównanie kosztów modernizacji wentylatora głównego przewietrzania typu WPK-5,0, sporządzone na podstawie ofert przedstawicieli producentów, oferujących niskonapięciowe przekształtniki częstotliwości na polskim rynku.

W tabeli 3 zostało natomiast przedstawione porównanie kosztów modernizacji takiego samego wentylatora głównego przewietrzania typu WPK-5,0 jednak z zastosowaniem przekształtnika częstotliwości na średnie napięcie. W tabelach 2 i 3 porównano przekształtniki częstotliwości takich firm jak: ABB, Rockwell Automation, Siemens, Vacon.

Porównując całkowity koszt modernizacji napędu wentylatora zamieszczony w tabelach 2 i 3 z ekonomicznego punktu widzenia na dzień dzisiejszy dobre są dwa rozwiązania. Pierwsze dobre rozwiązanie to zastosowanie silnika i przekształtnika częstotliwości

Tabela 2

**Porównanie kosztów modernizacji wentylatora głównego przewietrzania typu WPK-5,0  
przy zastosowaniu przekształtnika częstotliwości na niskie napięcie w PLN**

Lp.	Układ regulacji →	Przekształtnik częstotliwości <b>690 V</b> 12 pulsów (podwójna transformacja) silnik 2500 kW, 6 kV	Przekształtnik częstotliwości <b>690 V</b> niska zawartość harmonicznych regulowany cosφ (podwójna transformacja) silnik 2500 kW, 6 kV	Przekształtnik częstotliwości <b>690 V</b> niska zawartość harmonicznych regulowany cosφ silnik 2000 kW, 690 V	Przekształtnik częstotliwości <b>690 V</b> niska zawartość har- monicznych 12 pulsów (podwójna transformacja) silnik 2500 kW, 6 k V	Przekształtnik częstotliwości <b>690 V</b> niska zawartość harmonicznych 12 pulsów silnik 2000 kW, 690 V
	Elementy układu ↓					
1.	Silnik	990 000	990 000	920 000	990 000	
2.	Przekształtnik	604 000	705 000	705 000	630 000	630 000
3.	Filtr sinusoidalny	186 000	0	0	w przekształtniku	w przekształtniku
4.	Transformator -(y)	410 000	410 000	210 000	410 000	210 000
5.	Układ sterowania	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000
6.	Monitoring	175 000	175 000	175 000	175 000	175 000
7.	Łączny koszt opraco- wania dokumentacji, wykonania instalacji i uruchomienia	195 000	195 000	195 000	195 000	195 000
	<b>Całkowity koszt modernizacji jednego napędu</b>	<b>2 620 000</b>	<b>2 535 000</b>	<b>2 265 000</b>	<b>2 460 000</b>	<b>2 190 000</b>

Tabela 3

**Porównanie kosztów modernizacji wentylatora głównego przewietrzania typu WPK-5,0  
przy zastosowaniu przekształtnika częstotliwości na średnie napięcie w PLN**

Lp.	Układ regulacji →	Przekształtnik częstotliwości <b>3,3 kV</b> 12 pulsów silnik 2500 kW, 6/3,46 kV	Przekształtnik częstotliwości <b>6 kV</b> niska zawartość har- monicznych silnik 2500 kW, 6 kV	Przekształtnik częstotliwości <b>6 kV</b> silnik 2500 kW, 6 kV	Kaskada podsynchroniczna silnik pierścieniowy 2400 kW, 6 kV
	Elementy układu ↓				
1.	Silnik	990 000	990 000	990 000	1 250 000
2.	Przekształtnik	800 000	1 295 000	995 000	340 000
3.	Transformator -(y)	w przekształtniku	0	0	122 000
4.	Układ rozruchowy	0	0	0	107 000
5.	Układ sterowania	60 000	60 000	60 000	60 000
6.	Monitoring	175 000	175 000	175 000	175 000
7.	Łączny koszt opracowania dokumentacji, wykonania instalacji i uruchomienia	195 000	195 000	195 000	195 000
	<b>Całkowity koszt modernizacji jednego napędu</b>	<b>2 220 000</b>	<b>2 715 000</b>	<b>2 415 000</b>	<b>2 249 000</b>

niskiego napięcia. Drugie dobre rozwiązanie to zastosowanie przekształtnika częstotliwości na napięcie średnie 3,3 kV oraz silnika na napięcie znamionowe 6 kV, ale z uzwojeniem połączonym w trójkąt. Wtedy wprawdzie napięcie zasilające powinno mieć wartość znamionową 3,46 kV, jednak zastosowanie napięcia 3,3 kV (o 5% niższego) powoduje na tyle małe obniżenie mocy silnika, że wystarcza do napędu wentylatora typu WPK-5,0 (tabela 1).

Rozwiązanie z przekształtnikiem częstotliwości na napięcie 6 kV jest rozwiązaniem przyszłościowym. W chwili obecnej koszt takiego rozwiązania jest o około 10% wyższy niż rozwiązania z przekształtnikiem na 3,3 kV. Jednak w przyszłości należy się spodziewać spadku ceny przekształtników na napięcie 6 kV i wtedy rozwiązanie z takim przekształtnikiem może być najlepsze, z uwagi na brak transformatorów w układzie napędowym i brak związanych z tym strat energii.

Rozwiązanie z zastosowaniem kaskady podsynchronicznej w chwili obecnej ma ekonomiczne uzasadnienie w przypadku modernizacji istniejących wentylatorów, jeżeli do napędu modernizowanego wentylatora był stosowany silnik pierścieniowy. Nie ma wtedy konieczności wymiany silnika napędowego i takie rozwiązanie jest o ponad połowę tańsze niż inne.

## 7. PODSUMOWANIE

Przystępując do modernizacji napędu wentylatorów głównego przewietrzania kopalni należy przede wszystkim odpowiedzieć na pytanie, czy istnieje konieczność wymiany silnika napędowego wentylatora. Jeżeli nie ma takich zamierzeń, to o wyborze zasilania decyduje napięcie znamionowe pozostawianego silnika. Jeżeli silnik napędowy będzie również wymieniany, to wtedy na dzień dzisiejszy optymalne rozwiązanie zależy od mocy napędu wentylatora. W przypadku napędów mniejszej mocy najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie silnika i przekształtnika niskonapięciowego na napięciu 690V. W przypadku większej mocy najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie silnika i przekształtnika częstotliwości na średnie napięcie. W chwili obecnej optymalne jest zastosowanie przekształtnika na napięciu 3,3 kV, chociaż dla mocy powyżej 2000 kW rozsądne, ze względu na obniżenie wartości płynących prądów, jest zastosowanie silnika i przekształtnika na napięciu 6 kV. Ponieważ obecnie jest obserwowany systematyczny spadek cen przekształtników na średnie napięcie, to coraz bardziej opłacalne będzie stosowanie przekształtników na napięciu 6 kV, chociażby ze względu na mniejsze straty energii w przekształtniku i przewodach przesyłowych.

Podsumowując należy stwierdzić, iż w najbliższych latach w kopalniach węgla kamiennego w Polsce będzie postępować modernizacja lub wymiana układów napędowych wentylatorów głównego przewietrzania, ponieważ urządzenia do chwili obecnej pracujące zbliżają się już do końca swojego okresu eksploatacji. Ponadto obserwowany w ostatnich latach postęp technologiczny i spadek cen przekształtników częstotliwości na napięcie średnie powoduje, że również z ekonomicznego punktu widzenia modernizacja bądź wymiana wyeksploatowanych, starych i energochłonnych układów napędowych na nowe, energooszczędne silniki, zasilane poprzez przekształtniki częstotliwości średniego napięcia, będzie uzasadniona.

W chwili obecnej producenci stosują wiele różnych konstrukcji przekształtników częstotliwości na średnie napięcie. Szczególnie obiecujące są konstrukcje prze-

kształtników o niskiej zawartości harmonicznym, ponieważ nie wymagają one stosowania transformatorów w torze zasilania. Zastosowanie aktywnego prostownika w przekształtniku pozwala wyeliminować transformator dopasowujący, wytwarzający wielofazowe napięcie zasilające wielopulsowy prostownik wejściowy przekształtnika. Zastosowanie natomiast wielopoziomowego falownika napięcia w przekształtniku, pozwala na wyeliminowanie filtra sinusoidalnego stosowanego na wyjściu przekształtnika.

W chwili obecnej jedynie firma Siemens produkuje przekształtniki częstotliwości na napięcie średnie wyposażone w wielopoziomowe falowniki napięcia. Rodzina przekształtników wykorzystująca ten typ falownika nosi nazwę „Perfect Harmony” [10], co ma wskazywać na wręcz perfekcyjny, zbliżony do sinusoidy, kształt napięcia wyjściowego przekształtnika. Zbliżony do sinusoidy kształt napięcia wyjściowego jest uzyskiwany dzięki szeregowemu połączeniu kilku mostków falownikowych, jednofazowych w gałęzi każdej fazy, sterowanych metodą PWM. Dodatkową zaletą tej konstrukcji jest możliwość awaryjnego bocznikowania uszkodzonych mostków, co pozwala na dalszą nieprzerwaną pracę przekształtnika, ale przy zmniejszonych parametrach napięcia wyjściowego. Ta możliwość może być bardzo istotna w przypadku zasilania z przekształtnika ważnych obiektów kopalnianych, jak chociażby wentylatorów głównego przewietrzania.

### Literatura

1. *Lisiecki B., Bohosiewicz M.*: Ekonomiczne aspekty przewietrzania kopalń Katowickiego Holdingu Węglowego w procesie restrukturyzacji technicznej. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, nr 11/327, str. 91-100, Katowice 1997.
2. *Tor A., Wojciechowski S., Wikiera T.*: Sposoby modernizacji stacji wentylatorów głównych w okresie likwidacji kopalń na przykładzie kopalni Rudzkiej Spółki Węglowej S.A. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, nr 11/327, str. 72-84, Katowice 1997.
3. Katalog SWW 0873-12: „Wentylatory promieniowe”, Wydawnictwo Przemysłu Maszynowego – WEMA”, Warszawa 1976.
4. Materiały Forum Napędowego Rockwell Automation, Katowice 9 stycznia 2008: [http://www.rockwellautomation.pl/applications/gs/emea/gspl.nsf/page/s/drives\\_forum](http://www.rockwellautomation.pl/applications/gs/emea/gspl.nsf/page/s/drives_forum)
5. *Antoni M. Plamitzer*: *Maszyny Elektryczne*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1970.
6. *Grunwald Z.*: *Napęd Elektryczny*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1987.
7. Katalog „Silniki indukcyjne”, Dolnośląskie Zakłady Wytwórcze Maszyn Elektrycznych, Wrocław.
8. Rockwell Automation Sp. z o.o.: Przekształtniki częstotliwości na średnie napięcie, 2300-6600 V: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/7000-td200\\_en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/7000-td200_en-p.pdf)
9. ABB – Przekształtniki częstotliwości do układów napędowych średniego napięcia: <http://www.abb.com/product/us/9AAC100218.aspx>
10. Siemens – Przekształtniki AC średniego napięcia: <http://www.automation.siemens.com/download/internet/cache/3/1415790/pub/de/ws-perfect-harmony-e.pdf>