

Krzysztof KAROWIEC, Leon ROJ

Centralny Ośrodek Projektowo-Konstrukcyjny  
Maszyn Górniczych "KOMAG" Gliwice

## SPOSÓB REGULACJI WENTYLATORÓW - SZCZEGÓLNICIE LUTNIOWYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono sposób regulacji wentylatorów osiowych o stromo opadającej charakterystyce mocy (np. wentylatory przeciwbieżne) przez częściowy upust powietrza. W stosunku do regulacji dławieniowej, regulacja z upustem powietrza płynącego przez wentylator daje oszczędności energii.

### 1. Wstęp

Obecnie najczęściej stosowane są następujące sposoby regulacji wydajności i spiętrzenia wentylatorów:

- przez dławienie,
- przez zmianę prędkości obrotowej wirnika wentylatora,
- przez zmianę kąta ustawienia łopatek wirnika lub kierownicy.

Regulacja dławieniowa polega na celowym zwiększeniu oporów sieci podłączonej do wentylatora, dla osiągnięcia wymaganej wydajności. Regulacja ta jest prosta, lecz nieekonomiczna i może być stosowana tylko wtedy, gdy chcemy zmniejszyć wydajność wentylatora.

Regulacja przez zmianę prędkości obrotowej lub przez zmianę kąta ustawienia łopatek jest znacznie ekonomiczniejsza niż regulacja dławieniowa, lecz dla jej realizacji wymagane są skomplikowane układy do zmiany prędkości obrotowej lub urządzenia do przestawiania łopatek.

Urządzenia te komplikują konstrukcję wentylatora, zwiększając jego koszt, wymiary i ciężar.

Przedstawiona w praktyce regulacja ustępuje pod względem ekonomicznym regulacji przez zmianę prędkości obrotowej lub kąta ustawienia łopatek, lecz jest znacznie prostsza, a w stosunku do regulacji dławieniowej jest znacznie korzystniejsza, gdyż jak wykazano w artykule przynosi oszczędności energii.

### 2. Sposób regulacji wentylatorów osiowych

Regulację przedstawioną w artykule przewiduje się dla wentylatora, którego charakterystyka mocy w zależności od wydajności jest funkcją malejącą

ołą stromo opadającą. Regulację tę stosuje się wtedy, gdy wentylator pracuje w sieci o zwiększającym się oporze, a aktualna wydajność wentylatora jest większa od jego wydajności docelowej. Wydajność docelowa wentylatora (strumień docelowy) jest to wydajność objętościowa wentylatora, równa strumieniowi objętości powietrza wymaganemu w szczelnej sieci - przy jej maksymalnym oporze. Wspomniany przypadek zachodzi np. w górnictwie przy wentylacji lutniowej, gdzie wydajność docelowa jest osiągana przy maksymalnej długości wyrobiska, tj. przy maksymalnej długości lutniociągu. Wydajność ta jest niezbędna w całym okresie eksploatacji wyrobiska dla uzyskania wymaganych przepisami warunków wentylacji i rozrzedzeń metanu. Wentylator lutniowy jest dobierany tak, aby jego wydajność w optymalnym punkcie pracy była w przybliżeniu równa jego wydajności docelowej.

W związku z powyższym na początku eksploatacji wyrobiska, gdy jego wybieg jest krótki, a zatem i lutniociąg krótki, strumień objętości powietrza w wyrobisku jest niepotrzebnie większy od docelowego, co prowadzi do znacznego pogorszenia warunków klimatycznych w przodku górniczym, tj. nadmiernego zwiększenia prędkości przepływu powietrza i związanych z tym niedopuszczalnych przeciągów.

Nadmierne zwiększenie prędkości powietrza jest również niekorzystne w lutniociągu, gdyż powoduje pogorszenie skuteczności odpylania ewentualnie zainstalowanych odpylaczy (w przypadku wentylacji ssącej). Celem uzyskania więc w wyrobiskach strumienia objętości powietrza zbliżonego do docelowego, który jest optymalnym z punktu widzenia wentylacji i pracy urządzeń odpywiających, stosuje się regulację dławieniową. Stosowanie regulacji dławieniowej prowadzi jednak do znacznego zużycia energii elektrycznej przez wentylator.

Proponowana w artykule regulacja polega na tym, że dla wydajności wentylatora większych od docelowych, w miejsce regulacji dławieniowej, stosowany jest częściej upust do atmosfery powietrza w przekroju wylotowym wentylatora pracującego tłocznie. Strumień objętości  $V_u$  (rys. 1), płynący przez upust powietrza, dobrany jest tak, aby w lutniociągu strumień objętości powietrza był możliwie stały i zbliżony do docelowego  $V_{opt}$ , niezależnie od zwiększającej się długości  $L_1$ . Wartości strumienia objętości  $V_u$  upustu są zmienne w czasie wydłużania się lutniociągu, stosownie do wymaganej wartości docelowej strumienia objętości powietrza w lutniociągu, jego długości  $L_1$  i charakterystyki  $V$  (wydajność),  $\Delta P$  (spiętrzenie całkowite) wentylatora. Z chwilą, gdy wydajność wentylatora  $V_1$  (rys. 1) zbliży się do wydajności docelowej  $V_{opt}$  upust powietrza ulega przerwaniu, a wentylator tłoczy cały strumień powietrza przez lutniociąg.

Celem wykonania opisanego sposobu regulacji zabudowany będzie w pobliżu wylotowego przekroju wentylatora 1 (rys. 1) - tłoczącego powietrze do lutniociągu 3 - odpowiedni zawór 2, umożliwiający upust do atmosfery części powietrza wypływającego z wentylatora.

Podobnie przedstawia się regulacja w przypadku pracy wentylatora na ssaniu. Przy pracy ssącej wentylatora przewiduje się częściowe ssanie powie-

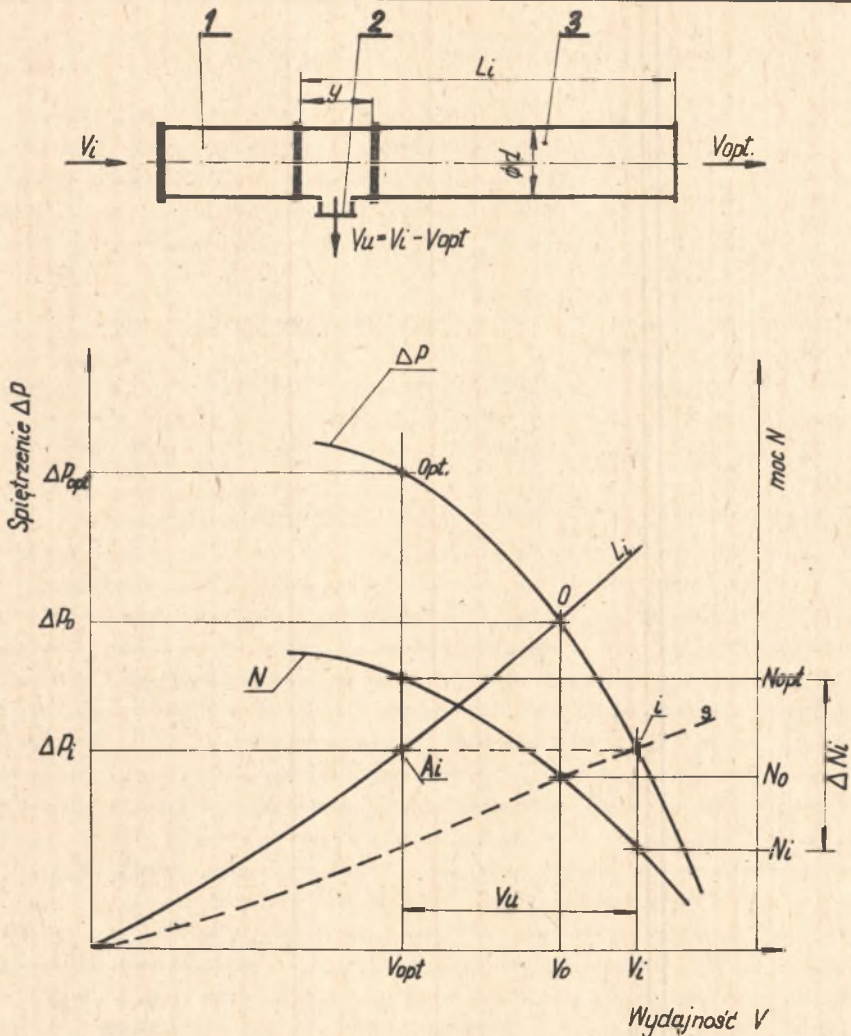
trza przez odpowiedni zawór usytuowany w pobliżu przekroju dolotowego wentylatora.

Reasumując - przedstawiona regulacja, której celem jest zmniejszenie mocy ( $N$ ) pobranej przez wentylator oraz uzyskanie prawie stałego strumienia objętości ( $V_{opt}$ ) w lutniociągu, wykorzystuje upusty powietrza do atmosfery lub dodatkowe jego zassanie z atmosfery przez wentylator. Opisaną wyżej regulację przedstawiono w układzie  $\Delta P, V$  oraz  $N, V$  na rys. 1 przy następujących założeniach:

- charakterystyka mocy  $N$  wentylatora jest funkcją malejącą, stromo opadającą od wydajności  $V$ ,
- lutniociąg, przez który płynie powietrze, jest szczelny, średnica lutniociągu  $d$  jest stała a długość  $L_1$  zwiększa się w sposób ciągły,
- pominięto opór gałęzi o długości  $y$  trójkąta, do którego zamocowany jest zawór 2,
- gęstość powietrza jest stała i równa  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ .

W początkowym okresie eksploatacji pracującego na tłoczeniu wentylatora o docelowej wydajności  $V_{opt}$ , jego spiętrzenie całkowite  $\Delta P_0$  jest mniejsze od docelowego  $\Delta P_{opt}$  (rys. 1). Jeżeli na początku eksploatacji wyrobiska aktualną krzywą oporów lutniociągu o długości  $L_1$  przedstawia linia  $L_1$ , to parametry pracy wentylatora odpowiadają punktowi 0. Do wyrobiska płynie więc lutniociągiem strumień wydajności  $V_0$  równy wydajności wentylatora  $V_0$ , a zużycie mocy przez wentylator wynosi  $N_0$ . Ponieważ wydajność  $V_0$  jest większa od wymaganej wydajności, równej docelowej  $V_{opt}$  ( $V_0 > V_{opt}$ ), stosowano dotychczas regulację dławieniową przez szeregowe włączenie dodatkowego oporu do lutniociągu. Przez zastosowanie regulacji dławieniowej uzyskiwano wydajność docelową  $V_{opt}$ , przy spiętrzeniu wentylatora  $\Delta P_{opt}$  i zużyciu mocy  $N_{opt}$ .

Zamiast regulacji dławieniowej stosujemy opisaną na wstępie regulację przez upust, tj. powodujemy zaworem 2 (rys. 1) - usytuowanym na wylocie z wentylatora upust  $V_u$  powietrza do atmosfery. Punkt pracy wentylatora przesuwa się do punktu "i", gdyż upust będzie tak dobrany, że wentylator uzyska spiętrzenie  $\Delta P_1$  równe oporom  $\Delta P_{A_1}$  lutniociągu  $L_1$  dla wartości  $V = V_{opt}$  (punkt A rys. 1  $\Delta P_1 = \Delta P_{A_1}$ ). Sumaryczną krzywą oporów lutniociągu i upustu przedstawia linia S. Przy spiętrzeniu wentylatora  $\Delta P_1 = \Delta P_{A_1}$  przez lutniociąg  $L_1$  popłynie strumień objętości  $V_{opt}$  równy wydajności docelowej wentylatora, natomiast do atmosfery wypływa strumień objętości  $V_u$ . Wydajność wentylatora jest wtedy równa  $V_i = V_u + V_{opt}$ , a zużycie mocy wynosi  $N_i$ . W wyniku zastosowania opisanego regulacji przez upust otrzymujemy zmniejszenie mocy  $\Delta N_i$ , w stosunku do mocy pobranej przy regulacji dławieniowej  $N_{opt}$ . Wartość zmniejszenia mocy jest równa  $\Delta N_i = N_{opt} - N_i$  (rys. 1). Natomiast zmniejszenie mocy  $\Delta N_0$  w stosunku do mocy  $N_0$  pobranej przez wentylator pracujący przy długości lutniociągu  $L_1$  bez regulacji dławieniowej jest równa  $\Delta N_0 = N_0 - N_i$ . Należy jednak podkre-

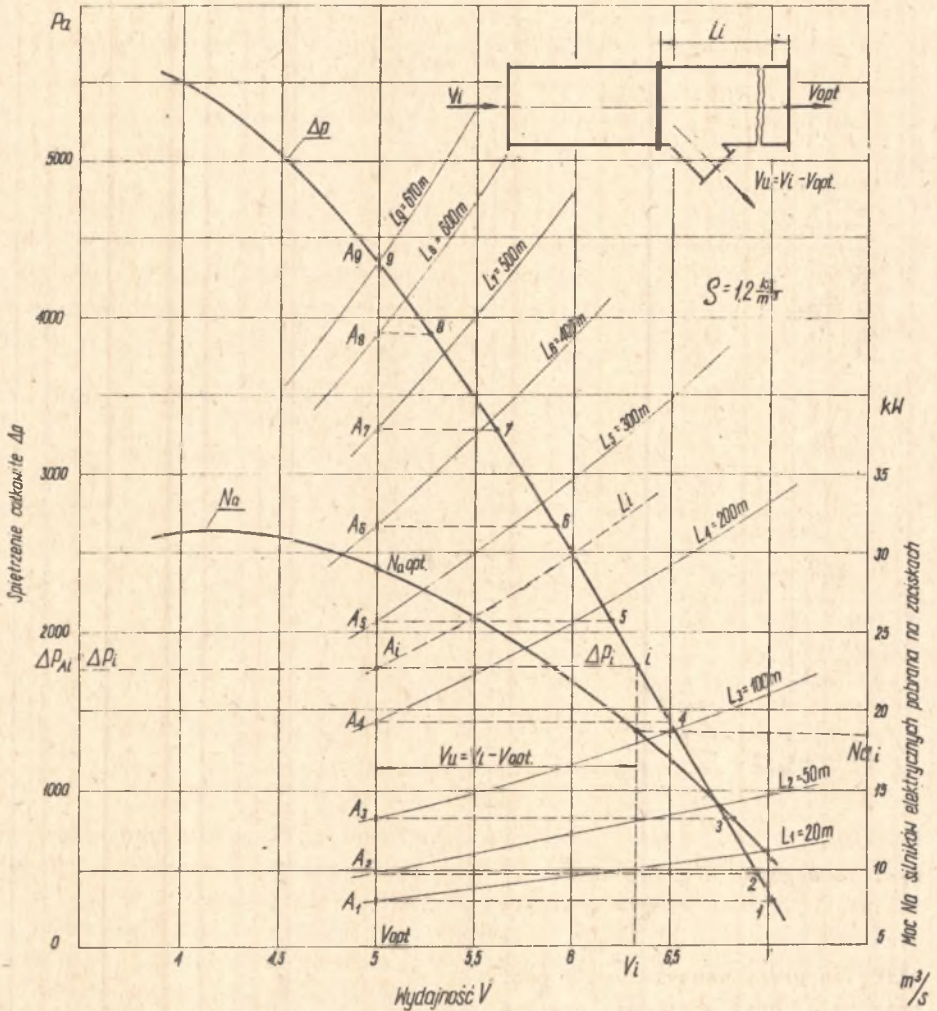


Rys. 1. Regulacja przez upust  $V_u$  powietrza w wentylatorze lutniowym tłoczącym powietrze do lutniociągu o długości  $L_1$

ślić, że praca wentylatora w punkcie 0, przy  $\Delta P_0$  oraz  $V_0$ , jest nie do przyjęcia, gdyż zbyt duża prędkość powietrza w wyrobisku i lutniociągu powoduje omawiane na wstępie pogorszenie warunków pracy.

Poniżej przedstawiono tok i rezultaty obliczeń poboru mocy i zużycia energii przez wentylator lutniowy elektryczny, tłoczący powietrze lutniociągiem średnicy  $d = 600$  mm o zwiększającej długości  $L_1$ , w przypadku zastosowania zaproponowanej regulacji w upustem oraz regulacji ciśnieniowej. Obliczenia przeprowadzono przy założeniach podanych na wstępie przy omawianiu rys. 1. Obliczenia te przeprowadzono na podstawie zmierzonych charakterystyk  $N_a$  oraz  $\Delta P$  (rys. 2) wentylatora lutniowego WLE-603A. Jest

to wentylator osiowy przeciwbieżny z napędem elektrycznym (dwa silniki) przewidziany do lutniociągów średnicy  $\phi$  600 mm najczęściej stosowanych w górnictwie węglowym.



Rys. 2. Regulacja przez upust  $V_u$  powietrza w wentylatorze lutniowym WLE-603A tłoczącym powietrze do lutniociągu o długości  $L_1$

Charakterystyka mocy  $N_a$ , tj. mocy pobranej przez zespół wentylator - silnik jest funkcją malejącą, stromo opadającą w zależności od wydajności  $V$ , a więc spełnia podstawowy warunek celowości stosowania regulacji z upustem. Na rys. 2 wykreślono też krzywe oporów lutniociągu średnicy  $d = 600$  mm

o różnej długości  $L_1$  ( $i = 1, 2, \dots, 9$ ) [1]. W tabelicy 1 podano ponadto uśrednioną zależność wydłużania się lutniociągu o długości  $L_1$  od czasu  $T_1$  w miarę postępu prac w drażonym chodniku kamiennym kopalni węgla.

Tabelica 1

Wyniki obliczeń poboru mocy na zaciskach silników elektrycznych wentylatora WLE-603A przy regulacji z upustem

Lp	Wielkość	Jednostka	Punkt odniesienia											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9			
	Numery kolejnych punktów $A_i$ , $\Delta P_i$ , $V_i$ $N_{ai}$ wg rys. 2													
1	Długość lutniociągu $L_1$	m	20	50	100	200	300	400	500	600	670			
2	Opór lutniociągu $\Delta P_{Ai} = \Delta P_i$ (dla $V_{opt} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ )	Pa	310	496	805	1425	2044	2664	3283	3903	4350			
3	Wydajność wentylatora $V_i$ (dla $\Delta P_{Ai} = \Delta P_i$ )	$\text{m}^3/\text{s}$	7,02	6,94	6,78	6,5	6,2	5,92	5,62	5,26	5			
4	Wielkość upustu $V_u = V_i - V_{opt}$	$\text{m}^3/\text{s}$	2,02	1,94	1,78	1,5	1,2	0,92	0,62	0,26	0			
5	Pobór mocy na zaciskach $N_{ai}$ (dla $V_i$ )	kW	10,6	11,9	13,7	17,2	20	22,8	25,3	27,5	29,1			
6	Czas $T_1$ wydłużania się długości lutniociągu $L_1$	h	0	280	680	1600	2520	3440	4360	5280	6200			

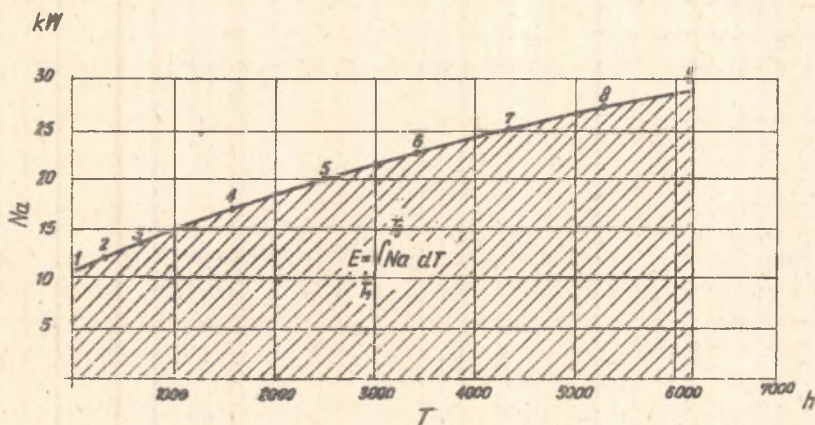
Tok obliczeń poboru mocy  $N_{ai}$  przez wentylator WLE-603A (łącznie z silnikami) pracujący z wydłużającym się lutniociągami  $L_1$  w przypadku zastosowania regulacji z upustem podano w tabelicy 1. W przeprowadzonych obliczeniach założono, że zawór 2 (rys. 1) jest otwarty każdorazowo tak, aby strumień objętości powietrza płynącego lutniociągami do przodka był stały i równy wydajności docelowej  $V_{opt} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ . wentylatora, niezależnie od długości  $L_1$  lutniociągu.

Tok obliczeń jest następujący:

Dla założonych jak w tabeli długości  $L_1$  ( $i = 1, 2, \dots, 9$ ) lutniociągu i wydajności docelowej  $V_{opt} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ . odczytujemy z rys. 2 w punktach  $A_i$ , tj. w punktach przecięcia się krzywych oporu  $L_1$  z prostą  $V_{opt}$ , ciśnienia  $\Delta P_{Ai}$ . Dla znalezionych tą drogą  $\Delta P_{Ai}$  znajdujemy z charakterystyki  $\Delta P$  wentylatora w punktach  $i = 1, 2, \dots, 9$  odpowiednie wydajności  $V_i$  a na-

stępnie odpowiadające tym wydajnościom wartości mocy  $N_{a_i}$  z charakterystyki mocy  $N_a$ . Na podstawie wartości  $N_{a_i}$  w punktach  $i = 1, 2, \dots, 9$  oraz  $T_i$  wziętych z tabeli wykreślono zależność mocy  $N_a$  od czasu wydłużania się lutniociągu, a więc i czasu pracy wentylatora WLE-603A (rys. 3). Wartość energii elektrycznej zużytej przez ten wentylator w przedziale czasu od  $T_1$  do  $T_0$  podaje wzór:

$$E = \int_{T_1}^{T_0} N_a \cdot dT \quad (1)$$



Rys. 3. Zależność mocy  $N_a$  na zaoiskach silników elektrycznych wentylatora WLE-603A od czasu  $T$  wydłużania się lutniociągu (1, 2, ..., 9 kolejne punkty wg tabeli 1)

Wartość całki (1) znaleziono przez splanimetrowanie pola powierzchni pod linią na rys. 3 (oznaczona zakreskowana). Pole to przedstawia energię  $E$  użytą przez wentylator, w rozważanym przedziale czasu od  $T_1 = 0$  do  $T_2 = 6200$  godzin, w przypadku stosowania regulacji z upustem powietrza  $V_u$ . Znaleziona wartość  $E$  wynosi  $E = 131\ 706$  KWh. Celem porównania zużycia energii  $E$  w stosunku do energii  $E_{opt}$  zużytej przy dławieniu założono, że w przypadku regulacji dławieniowej opory urządzenia dławiącego są tak dobrane, że każdorazowo przez lutniociąg niezależnie od jego długości  $L_1$  przepływa stały strumień objętości docelowej równy  $V_{opt} = 5$  m<sup>3</sup>/s. W takim przypadku niezależnie od długości  $L_1$  lutniociągu punkt pracy wentylatora WLE-603A leży w punkcie 9 (rys. 2) i parametry pracy wentylatora są stałe, równe  $\Delta P = \Delta P_9 = 4350$  Pa oraz  $V = V_{opt} = 5$  m<sup>3</sup>/s, a pobór mocy jest niezmienny i wynosi  $N_{a_{opt}} = N_9 = 29,1$  kW.

Zużycie energii  $E_{opt}$  przez wentylator WLE-603A, pracujący w okresie od  $T_1$  do  $T_9$  w przypadku stosowania ww regulacji dławieniowej, jest równe:

$$E_{opt} = N_9(T_9 - T_1) = 29,1 (6200 - 0) = 180\,420 \text{ kWh} \quad (2)$$

Stosunek

$$x = \frac{E_{opt} - E}{E_{opt}} \quad (3)$$

daje procentowe zmniejszenie zużycia energii w wyniku zastosowania regulacji z upustem w stosunku do zużycia w przypadku regulacji dławieniowej. W przypadku wentylatora WLE-603A wartość  $x$  wynosi ok. 27%. Wynik ten wskazuje na celowość zastąpienia regulacji dławieniowej regulacją z upustem.

### 3. Wnioski

Przeprowadzona analiza i obliczenia wykazały, że zastosowanie regulacji z upustem powietrza do atmosfery w wentylatorze lutniowym o stromo opadającej charakterystyce mocy pozwala w prosty sposób na zmniejszenie zużycia energii potrzebnej do napędu wentylatora w stosunku do zużycia przy regulacji dławieniowej. Powyższy wniosek dotyczy wentylatora tłoczącego powietrze do lutniociągu o zwiększającej się długości, a więc w przypadku szeroko występującego w górnictwie przy drażeniu chodników.

W przypadku konkretnego wentylatora lutniowego z napędem elektrycznym typu WLE-603A tłoczącego powietrze do lutniociągu zabudowanego w drażonym chodniku kamiennym kopalni węgla, wspomniane zmniejszenie zużycia energii jest równe  $x \approx 27\%$ .

Zmniejszenie zużycia energii w stosunku do zużycia przy regulacji dławieniowej uzyskuje się również wtedy, gdy wentylator lutniowy odsysa powietrze przez wydłużający się lutniociąg. W takim przypadku o ile charakterystyka mocy wentylatora jest stromo opadającą, wentylator powinien zasysać dodatkowo powietrze z atmosfery.

### LITERATURA

- [1] Karowiec K., Zbyradowski T., Baran B.: *Ekonomika mechanizacji i automatyzacji górnictwa - ZKMPW. Wpływ regulacji wentylatorów lutniowych na koszt zużycia energii elektrycznej.*
- [2] *Sprawozdanie Nr 10/76 "KOMAG" - Gliwice pt.: Opory w lutniociągach o  $\varnothing$  315 do 1000 mm.*
- [3] *Sprawozdanie Nr 14/77 "KOMAG" - Gliwice, pt.: Badania stoiskowe i eksploatacyjne prototypu wentylatora WLE do lutni  $\varnothing$  600 mm.*



СПОСОБ РЕГУЛИРОВКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ  
В ЧАСТНОСТИ ТРУБНЫХ

## Р е з ю м е

В статье излагается способ регулировки осевых вентиляторов с крутопадающей характеристикой мощности напр. встречного вращения путем частичного выпуска воздуха.

По сравнению с дросселированием, регулировка с выпуском воздуха проходящего через вентилятор, существенно уменьшает энергозатраты.

METHOD OF FAN REGULATION,  
SPECIFICALLY DUCT FAN REGULATION

## S u m m a r y

The paper presents a method of regulation of axial fans with steeply falling power characteristics curves. (i.e. counter-rotating fans) by means of partial air bleeding. In comparison to throttling, the bleeding type regulation gives considerable power economy.