

Marzena NADOLNA*

NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANE SPOSOBY REGULACJI WYDAJNOŚCI WENTYLATORÓW

Streszczenie

Zaprezentowano najczęściej stosowane sposoby regulacji wydajności wentylatorów. Omówiono zależności mocy względnej od wydajności względnej dla różnych sposobów regulacji wentylatorów oraz wpływ regulacji na pracę instalacji. Wykazano, że zastosowanie zmiennych wydajności wentylatorów dostosowywanych do aktualnych procesów pracy przynosi znaczne oszczędności energetyczne.

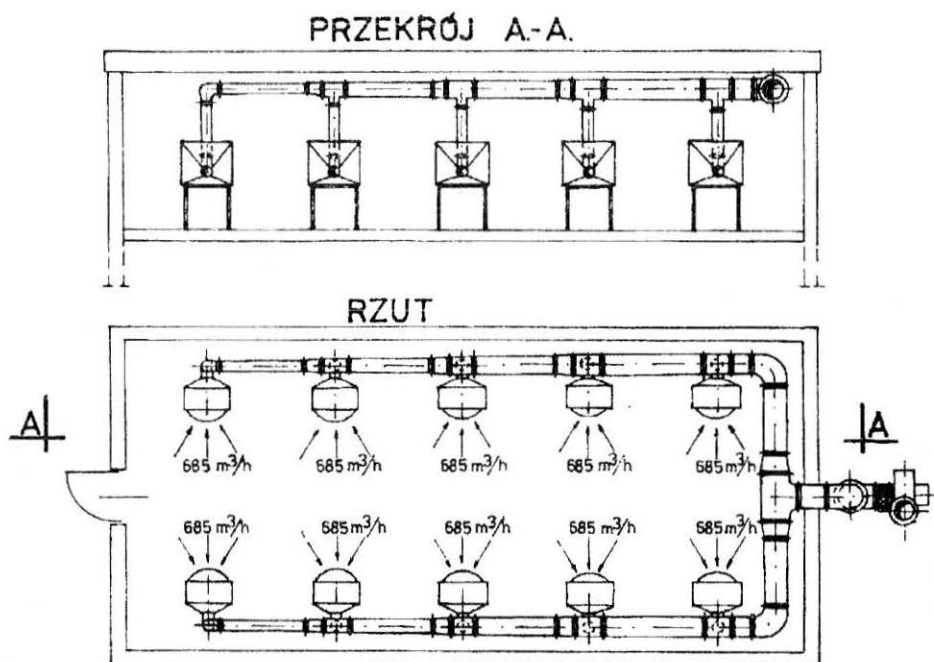
Prowadzone badania nad układami wentylacyjnymi i transportu pneumatycznego [4 W. Uździcki, 1989] pokazują, że najbardziej aktualnym kierunkiem w jakim prowadzi się badania nad zmniejszeniem energochłonności, jest dostosowanie pracy instalacji wentylacyjnej do aktualnych warunków panujących w pomieszczeniach. Układy wentylacyjne w których ilość powietrza wentylującego ulega zmianie dopasowując się do aktualnych potrzeb nazywamy urządzeniami o zmiennym przepływie objętości powietrza w skrócie ZPO. Urządzenia ZPO znalazły szerokie zastosowanie w wentylacji biur, dużych sal, restauracji, kawiarni, kin, sal konferencyjnych, hoteli itp., czyli wszędzie tam gdzie objętość powietrza wentylującego zmienia się w zależności od warunków panujących w pomieszczeniach.

Zasadę działania urządzeń ZPO można przedstawić na przykładzie rozwiązania układu wentylacyjnego lakierni. W rozpatrywanym modelu, w pomieszczeniu lakierni znajduje się 10 stanowisk (stołów obrotowych). Każde stanowisko posiada odciąg wentylacyjny w postaci odwróconego okapu obudowującego stanowisko z czterech stron. Lakierowane przedmioty ustawiane są na stołach obrotowych i pistoletami pneumatycznymi lakierowane są lakierami nitrocelulozowymi, szybkoschnącymi. Ilość odciąganego powietrza zależy od składu chemicznego oraz od ilości zużywanego lakieru. Prawidłowo działająca instalacja wentylacyjna powinna utrzymać w pomieszczeniu i na stanowiskach pracy stężenie czynników szkodliwych niższe od dopuszczalnego, gwarantując bezpieczną pracę ludzi. Gdy pracują wszystkie stanowiska lakiernicze maksymalna ilość powietrza wywiewanego wynosi $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Wentylator i kanały wentylacyjne dobrano na maksymalną wydajność. Odciąganie powietrza z nad niepracujących stanowisk jest niecelowe i przynoszące znaczne koszty.

* mgr inż. Marzena Nadolna - Zakład Sieci i Instalacji Sanitarnych, Politechnika Zielonogórska

Na kanale wywiewnym, przed każdym stanowiskiem lakierniczym zamontowano zasuwę odcinającą. W przypadku gdy któreś ze stanowisk nie pracuje zasuwę jest zamknięta. Wraz ze zmniejszeniem ilości pracujących stanowisk wymagana ilość wywiewanego powietrza ulega zmniejszeniu. Regulację strumienia objętości wentylatora można wykonać ręcznie lub automatycznie, wykorzystując regulator różnicy ciśnień. W pewnym miejscu przewodu wywiewnego utrzymywane jest za pomocą regulatora z czujnikiem stałe ciśnienie. Jeśli łączny strumień objętości powietrza wywiewanego z poszczególnych stanowisk lakierniczych zaczyna się zmieniać powstaje odchylenie regulacji, a wówczas regulator odpowiednio redukuje lub zwiększa wydajność wentylatora.

Maksymalna ilość powietrza nawiewanego wynosi $1,71 \text{ m}^3/\text{s}$, w pomieszczeniu będzie panowało podciśnienie uniemożliwiające rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń. Działanie wentylatorów wywiewnego i nawiewnego są wzajemnie zależne. W przypadku gdy zmniejsza się wydajność wentylatora wywiewnego odpowiednio zmniejsza się wydajność wentylatora nawiewnego - utrzymując w pomieszczeniu stałe podciśnienie.



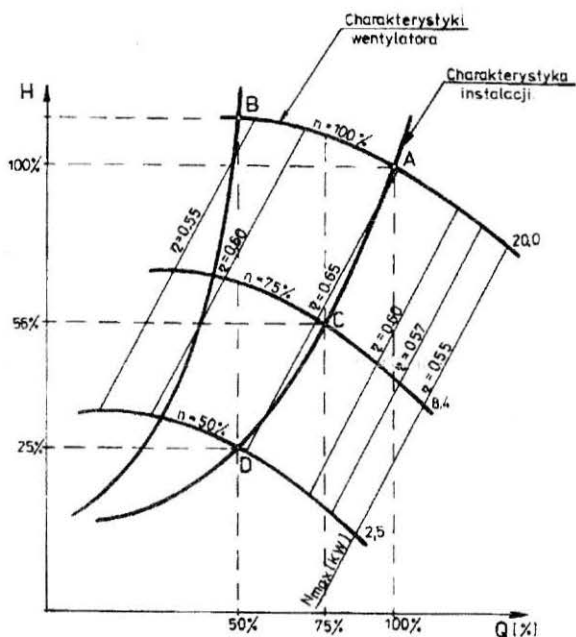
Rys. 1 Model instalacji wentylacji wywiewnej w pomieszczeniu lakierni

Najczęściej stosuje się następujące metody regulacji wydajności wentylatorów:

- przez dławienie przepływu,
- przez zmianę prędkości obrotowej.
- przez zmianę kąta nachylenia łopatek wirnika.

Regulacja przez dławienie jest metodą energochłonną i polega na zmianie stopnia

otwarcia przepustnicy. Dławienie może się odbywać w przewodzie tłocznym lub ssawnym. Przy tej metodzie wentylator pracuje ze stałą prędkością obrotową nawet przy zmniejszeniu wydajności instalacji o 50 % stwierdzić można tylko niewielkie zmniejszenie mocy.



Rys. 2 Charakterystyki układu wentylatora

Na rys.2 przedstawiono charakterystyki wentylatora dla różnych prędkości obrotowych oraz charakterystykę instalacji. Przy bezpośrednim zasilaniu z sieci wentylator pracuje ze stałą prędkością obrotową. Przy regulacji przepustnicą punkt pracy przesunie się wzdłuż charakterystyki wentylatora od punktu A do punktu B. Przy regulacji dławieniem, prędkość obrotowa wentylatora nie ulega zmianie, część mocy tracona jest w samym wentylatorze i na przepustnicy. Uzyskanie zmiany objętości przepływu odbywa się kosztem sztucznej zmiany charakterystyki instalacji.

Najczęściej wentylatory dobiera się tak, aby przy prędkości znamionowej pracowały w pobliżu maksymalnej sprawności. Podczas dławienia przepływu punkt pracy ulega zmianie, sprawność wentylatora maleje, co powoduje że duża część energii elektrycznej pobierana przez wentylator jest tracona na pokrycie zwiększonych oporów.

Bardziej korzystną i ekonomiczniejszą metodą regulacji wydajności wentylatora jest regulacja, dzięki zmianie prędkości obrotowej. Regulacja ta jest możliwa dzięki zastosowaniu statycznej przetwornicy częstotliwości umożliwiającej zmianę częstotliwości i napięcia na wejściu do przetwornicy.

Na rys.2 przedstawiono trzy punkty pracy wentylatora:

- dla wydajności 100 % - punkt A
- dla wydajności 75 % - punkt C
- dla wydajności 50 % - punkt D

Zmieniając prędkość obrotową wentylatora, przechodzi się na wykresie do coraz niżej położonych charakterystyk. Zmniejszenie przepływu odbywa się bez zmiany charakterystyki instalacji. Wraz ze zmniejszaniem się prędkości nieznacznie spada sprawność. Parametry wentylatora i przebieg jego charakterystyk przy różnych prędkościach obrotowych można określić posługując się wzorami:

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{n}{n_0} \quad (1)$$

$$\frac{H}{H_0} = \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 \quad (2)$$

Praca wentylatora przy prędkości obrotowej n_0 odbywa się ze sprawnością $\eta_0 \sim \bar{\eta}$ wobec tego:

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{n}{n_0} \right)^3 \quad (3)$$

gdzie:

Q - wydajność wentylatora,

H - spręż wentylatora,

N - moc pobierana,

n - prędkość obrotowa.

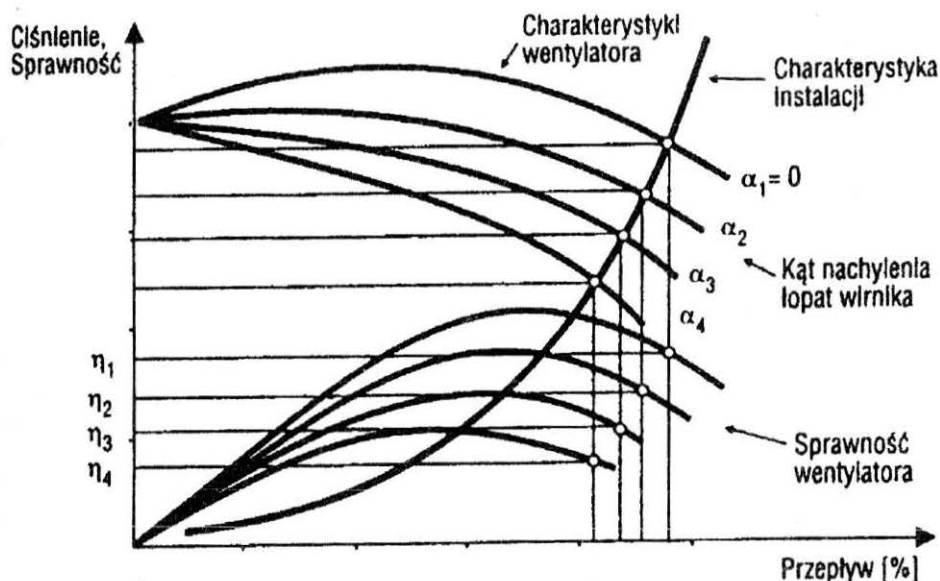
indeks „o” odnosi się do warunków znamionowych

Teoretyczne zużycie energii przy zmniejszeniu wydajności wentylatora o 50% można obliczyć ze wzoru:

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{n}{n_0} \right)^3 = \left(\frac{1}{2} \right)^3 = 0,125 \quad (4)$$

Teoretyczna moc pobierana przez wentylator pracujący z wydajnością 50 % wyniesie zaledwie 12,5 % mocy znamionowej. Po uwzględnieniu sprawności wentylatora, silnika oraz przetwornicy wynik byłby rzędu 20 % mocy znamionowej [3. Ptaszyński Envirotech Poznań]

Budując układ automatycznej regulacji przepływu, w którym wydajność wentylatora będzie dostosowana do aktualnego zapotrzebowania można uzyskać znaczne oszczędności energetyczne.

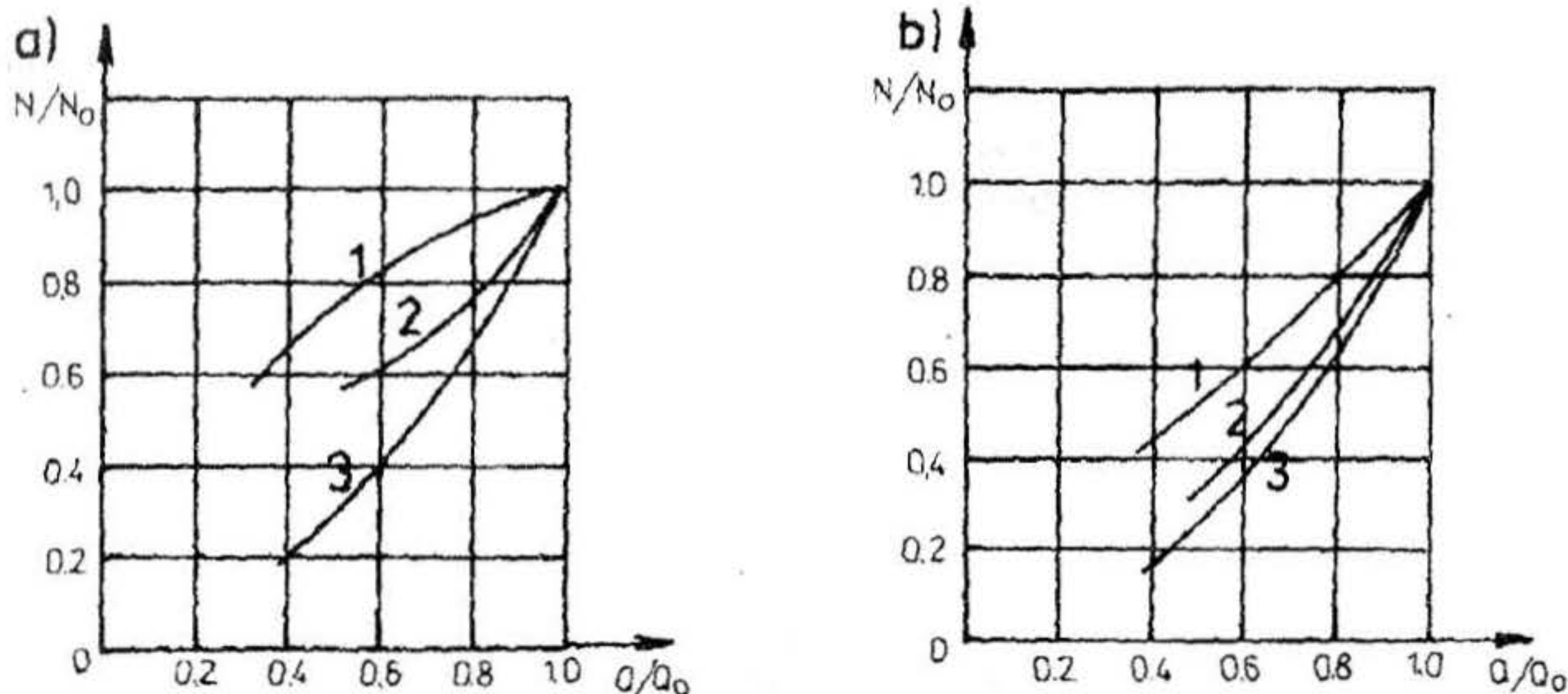


Rys. 3 Charakterystyka pracy układu wentylacyjnego przy regulacji wydajności wentylatora aparatem kierowniczym

Trzecią metodą regulacji wydajności wentylatora jest regulacja, dzięki zmianie kąta nachylenia łopatek wirnika, za pomocą tzw. aparatów kierowniczych. Regulację wydajności wentylatora aparatem kierowniczym przedstawiono na rys. 3. Zmieniając charakterystykę wentylatora dopasowujemy wydajność i spręż do aktualnego zapotrzebowania. Zakres regulacji wydajności wentylatora, tą metodą, jest ograniczony. Dla wentylatorów z łopatkami zakrzywionymi ku przodowi regulacja przez zmianę kąta nachylenia łopatek mało ustępuje sposobowi regulacji przez zmianę prędkości obrotowej, natomiast dla wentylatorów z łopatkami zakrzywionymi ku tyłowi regulacja ta jest mało ekonomiczna.

Na rys. nr 4 przedstawiono zależności mocy względnej N/N_0 od wydajności względnej Q/Q_0 przy różnych sposobach regulacji wentylatora o łopatkach zakrzywionych ku tyłowi (rys 4a) i dla wentylatora o łopatkach zakrzywionych ku przodowi (rys. 4b) [1, F.Jankowski, Arkady, 1975].

Z wykresu widać, że najbardziej ekonomiczną jest regulacja przez zmianę prędkości obrotowej. Sposób ten jest tym korzystniejszy im większa jest zmiana wydajności. Ekonomiczność regulacji dławieniem i za pomocą aparatów kierowniczych zależy od typu wentylatora: przy regulacji tymi sposobami mniej energii od wentylatora z łopatkami zakrzywionymi w tył zużywa wentylator z łopatkami zakrzywionymi w przód. W przedstawionym na rys.4 przykładzie przy obniżeniu wydajności o 60% zapotrzebowanie mocy do napędu wentylatora z łopatkami zakrzywionymi w tył jest około dwa razy większe przy dławieniu niż przy regulacji przez zmianę prędkości obrotowej, a dla wentylatorów z łopatkami zakrzywionymi w przód tylko około 1,5 raza.



Rys. 4. Zależność mocy względnej N/N_0 od wydajności względnej Q/Q_0 przy różnych sposobach regulacji wentylatorów: 1- regulacja dławieniem, 2- regulacja przez zmianę kąta nachylenia łopatek, 3- regulacja przez zmianę prędkość obrotowej.

a) z łopatkami zakrzywionymi w tył b) z łopatkami zakrzywionymi w przód.

Regulacja wydajności wentylatorów, poprzez zmianę prędkości obrotowej jest metodą najlepszą, dającą duże oszczędności ekonomiczne oraz możliwość automatyzacji i optymalizacji danego procesu. Zastosowanie przetwornic do regulacji prędkości obrotowej stwarza nowe możliwości monitorowania procesu, gdyż wiele z nich posiada specjalne funkcje kontrolujące pracę wentylatorów.

W celu dokonania obliczeń oszczędności wynikających z zastosowania instalacji wentylacyjnej ZPO, dla przedstawionego model instalacji wentylacyjnej pomieszczenia lakierni przeliczono teoretyczne zapotrzebowanie na moc grzewczą i elektryczną dla dwóch wariantów rozwiązania instalacji wentylacyjnej.

Wariant I

Instalacja wentylacyjna cały czas, bez względu na ilość pracujących stanowisk, pracuje z jednakową wydajnością i sprężem. Koszty związane z eksploatacją takiego rozwiązania są bardzo wysokie a wiążą się ze :

- stałym maksymalnym poborem mocy elektrycznej wentylatora nawiewnego i wywiewnego:

Pobierana moc elektryczna przez wentylatory wynosi:

$$N_{el} = \frac{N_0}{\eta_s} \quad (5)$$

w którym:

N_0 - moc wentylatora,

η_s - sprawność znamionowa silnika.

- dużym zapotrzebowaniem mocy grzewczej dla okresu zimowego (podgrzew powietrza nawiewanego)

$$N_{co} = 0,34(t_w - t_z) Q \quad (6)$$

w którym:

- t_w - temperatura wewnętrzna w pomieszczeniu,
- t_z - temperatura zewnętrzna,
- Q - ilość powietrza wentylującego.

Wariant II

W instalacji wentylacyjnej zastosowano urządzenia ZPO dostosowujące pracę instalacji do procesów pracy. Przed każdym stanowiskiem lakierniczym, na kanale wywiewnym umieszczono zasuwę odcinającą. W przypadku gdy któreś ze stanowisk nie pracuje zasawa jest zamknięta. W związku ze zmniejszeniem ilości pracujących stanowisk zmniejsza się ilość odciąganego z hali powietrza i odpowiednio zmniejsza się wydajność i spręż wentylatora wywiewnego oraz współpracującego z nim wentylatora nawiewnego. Regulacja wydajności wentylatorów będzie odbywała się przy udziale przetwornicy częstotliwości czyli przez zmianę prędkości obrotowej wentylatora.

- Pobierana moc elektryczna wentylatora przy 100% obciążeniu:

$$N_{el} = \frac{N_o}{\eta_s \eta_{prz}} \quad (7)$$

- Pobierana moc elektryczna wentylatora przy 75% obciążeniu:

$$N_{el} = N_o \left(\frac{n_{75}}{n_{100}} \right)^3 \frac{1}{\eta_s \eta_{prz}} \quad (8)$$

- Pobierana moc elektryczna wentylatora przy 50% obciążeniu:

$$N_{el} = N_o \left(\frac{n_{50}}{n_{100}} \right)^3 \frac{1}{\eta_s \eta_{prz}} \quad (9)$$

gdzie:

- N_o - moc pobierana,
- η_s - sprawność znamionowa silnika,
- η_{prz} - sprawność przetwornicy,
- n - prędkość obrotowa wirnika wentylatora.

Do obliczeń przyjęto założenie, że przy pracy jednozmianowej instalacja pracuje 8 godzin. Założono również, że instalacja przy 100% obciążeniu pracuje 2,5 godziny, przy 75% - 2,5 godz., przy 50% - 2,5 godz., przy 0% - 0,5 godz.

Oszczędności jakie można uzyskać przy zastosowaniu instalacji wywiewnej z zastosowaniem urządzeń ZPO regulowanych prędkością obrotową w porównaniu do instalacji wywiewnej o stałej wydajności przedstawiono w tabeli (Tab.1.)

TABELA 1

Zestawienie mocy elektrycznej wentylatora wywiewnego i zapotrzebowania na moc grzewczą do podgrzewu powietrza nawiewanego

M-c	Liczba dni pracy w m-c	Średnia temp. zewn.	Wyd. [Q]	Ilość godz. pracy w m-c	Wywiew o stałej objętości		Wywiew o zmiennej objętości ZPO		Oszczędności wynikające z zastosowania ZPO	
					N _{el}	N _{co}	N _{el}	N _{co}	N _{el}	N _{co}
	[dni]	[°C]	[%]	[godz]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]
X	22	+8,60	100	55,0	1158	948	1219	948	-61	0
			75	55,0	1158	948	514	711	644	237
			50	55,0	1158	948	152	474	1006	474
XI	21	+2,90	100	52,5	1105	1602	1163	1602	-58	0
			75	52,5	1105	1602	490	1202	615	400
			50	52,5	1105	1602	145	801	960	801
XII	21	+1,25	100	52,5	1105	1804	1163	1804	-58	0
			75	52,5	1105	1804	490	1380	615	424
			50	52,5	1105	1804	145	902	960	902
I	21	-1,00	100	52,5	1105	2079	1163	2079	-58	0
			75	52,5	1105	2079	490	1559	615	520
			50	52,5	1105	2079	145	1040	960	1040
II	20	-0,30	100	50,0	1053	1898	1108	1898	-55	0
			75	50,0	1053	1898	467	1424	586	474
			50	50,0	1053	1898	139	949	914	949
III	22	+3,20	100	55,0	1158	1640	1219	1640	-61	0
			75	55,0	1158	1640	514	1230	644	410
			50	55,0	1158	1640	152	820	1006	820
IV	21	+8,40	100	52,5	1105	929	1163	929	-58	0
			75	52,5	1105	929	490	695	615	234
			50	52,5	1105	929	145	465	960	464
Σ				1110,	23367	32700	12676	24552	10691	8149

Przy założeniu, że instalacja wentylacyjna działa przy 100% obciążeniu przez 2,5 godz., przy 75% obciążeniu przez 2,5 godz., oraz przy 50% obciążeniu przez 2,5 godz. oszczędności wynoszą:

- energii elektrycznej 10691 KW w ciągu 7 miesięcy okresu grzewczego
- energii cieplnej 8149 KW w ciągu 7 miesięcy okresu grzewczego

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że przy zastosowaniu urządzeń wentylacyjnych o zmiennej objętości przepływu powietrza dostosowanej do procesów pracy zmniejszenie zużycia energii elektrycznej wynosi ok. 50-60% a zmniejszenie zużycia energii cieplnej w okresie grzewczym wynosi 70-80%. W rozważaniach nie uwzględniono zapotrzebowania na moc elektryczną dla wentylatorów nawiewnych. Uwzględniając zapotrzebowanie na moc elektryczną dla tych wentylatorów oszczędności energii elektrycznej były by jeszcze większe ze względu na ścisłą zależność pomiędzy wydajnością wentylatora nawiewnego i wywiewnego.

LITERATURA

- [1] JANKOWSKI F.: *Pompy i wentylatory w inżynierii sanitarnej*, Arkady, Warszawa 1975
- [2] PRZYDRÓŻNY St.; Ferencowicz J.; *Klimatyzacja*, Politechnika Wroclawska, Wrocław 1989
- [3] PTASZYŃSKI L.: *Przetwornice częstotliwości. Budowa, dobór, zastosowanie i eksploatacja*, Envirotech Poznań
- [4] UŹDZICKI W.: *Podstawy projektowania energooszczędnych instalacji pneumatycznego odwiórowania w wybranych gałęziach przemysłu drzewnego*. Maszynopis rozprawy doktorskiej. Instytut Technologii Drewna, Poznań 1989.