

Remigiusz AKSENTOWICZ, Waldemar UŹDZICKI

SYSTEM POMIAROWY I REGULACJI PRZEPIYU POWIETRZA W ZMIENNYCH WARUNKACH PRACY PNEUMATYCZNEJ INSTALACJI ODCIĄGOWEJ

Streszczenie

Jednym ze sposobów zmniejszenia zużycia energii związanej z eksploatacją pneumatycznej instalacji odciągowej jest zastosowanie przetwornicy częstotliwości do regulacji prędkości obrotowej silnika wentylatora.

W artykule zaprezentowano układ automatycznej regulacji w oparciu o sprzężenie zwrotne od prędkości przepływu powietrza w przewodzie głównym instalacji. Zastosowane rozwiązanie skutecznie wpływa na poprawę efektywności energetycznej pneumatycznej instalacji odciągowej.

WSTĘP

Pneumatyczne instalacje odciągowe stosowane są do usuwania odpadów powstających w trakcie mechanicznej obróbki drewna. Służą one do wylapywania i zbierania wiórów i pyłów powstających przy mechanicznej obróbce drewna, jak również transportu mieszaniny pyłowo – powietrznej do odpylacza [1,4]. Warunkiem efektywnej pracy takiej instalacji jest uzyskanie odpowiedniej prędkości przepływu powietrza w poszczególnych ssawkach. Prawidłowy rozkład natężenia przepływu powietrza we wszystkich odgałęzieniach zostanie osiągnięty, jeżeli opory przepływu przez kanały transportowe odgałęzień bocznych instalacji są odpowiednio mniejsze od ciśnienia wentylatora [2].

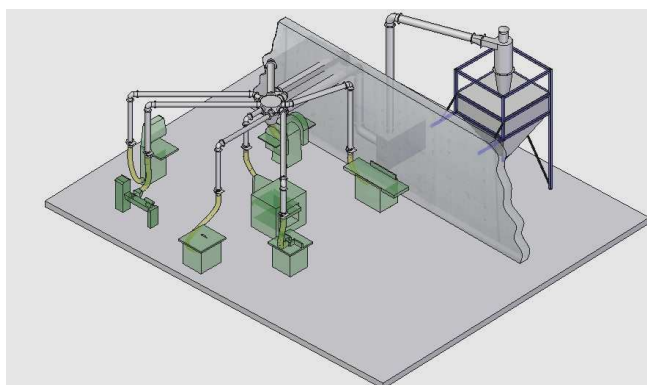
W zależności od zastosowanego układu instalacje mogą być wykonane w układzie magistralnym lub kolektorowym. W układzie magistralnym przewody odciągowe są kolejno dołączane do przewodu głównego, którego średnica stopniowo się zwiększa. Transport odpadów odbywa się pod wpływem różnicy ciśnień całkowitych na wlocie i wlocie wentylatora. Badana instalacja należy do grupy kolektorowych. Zastosowano w niej zbiornik wyrównawczy (kolektor) umożliwiający wyrównanie spadków ciśnienia w przewodach odciągowych i zapewniający właściwy rozkład powietrza pobieranego poszczególnymi ssawkami. W układzie kolektorowym możliwe jest także sekcyjne działanie instalacji, dzięki zastosowaniu zasuw odcinających na przewodach odciągowych przy obrabiarkach [3]. W zależności od liczby otwartych zasuw zmienia się prędkość przepływu powietrza w przewodach.

W artykule przedstawiono system pomiarowy i regulacji prędkości przepływu powietrza w zmiennych warunkach pracy pneumatycznej instalacji odciągowej w oparciu o układ automatycznej regulacji prędkości przepływu powietrza. Poprzez zastosowanie układu automatycznej regulacji możliwe jest utrzymywanie prędkości przepływu powietrza na stałym, zadanym poziomie. Prędkość przepływu powietrza jest jednym z najważniejszych parametrów eksploatacyjnych instalacji. Podczas eksploatacji instalacji jej parametry ulegają zmianie. Prędkości przepływu powietrza w odgałęzieniach bocznych instalacji powinny być tak dobrane, aby były równe prędkości przepływu powietrza w przewodzie głównym w miejscu podłączenia tych odgałęzień. Przepływ powietrza powinien odbywać się z prędkością nie niższą niż wartość minimalna wymagana dla każdej z obrabiarek oraz dla rodzajów usuwanych odpadów. Elementami umożliwiającymi regulację pracą instalacji i zmniejszenie jej energochłonności mogą być dodatkowe środki wyposażenia technicznego, m.in.: zasuw odcinające na przewodach odciągowych – umożliwiają zamykanie przewodów przy niepracujących obrabiarkach; doprowa-

dzenie dodatkowego powietrza z zewnątrz hali do kolektora instalacji – pozwala na utrzymanie prędkości przepływu w przewodzie głównym na wymaganym poziomie; przetwornice częstotliwości – stosowane do regulacji prędkości obrotowej wirnika wentylatora; a także właśnie układy automatycznie sterujące i kontrolujące proces odciągowy.

1. PNEUMATYCZNA INSTALACJA ODCIĄGOWA Z UKŁADEM AUTOMATYCZNEJ REGULACJI

Na podstawie istniejącej pneumatycznej instalacji odciągowej o układzie kolektorowym znajdującej się w Laboratorium Mechanicznej Obróbki Drewna Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Zielonogórskiego, rozbudowano instalację o układ automatycznej regulacji prędkości przepływu powietrza.

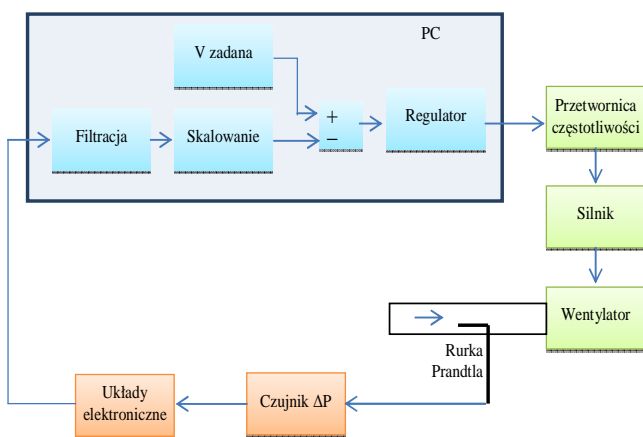


Rys. 1. Widok badanej pneumatycznej instalacji odciągowej

Pneumatyczna instalacja odciągowa była wyposażona w wentylator, który napędzany był silnikiem trójfazowym o mocy 11kW i maksymalnych obrotach 2980 obr/min. Silnik sterowany był przetwornicą częstotliwości Hitachi J300. Do kolektora instalacji podłączonych było siedem odgałęzień bocznych. Na każdym odgałęzieniu były zamontowane zasady odcinające.

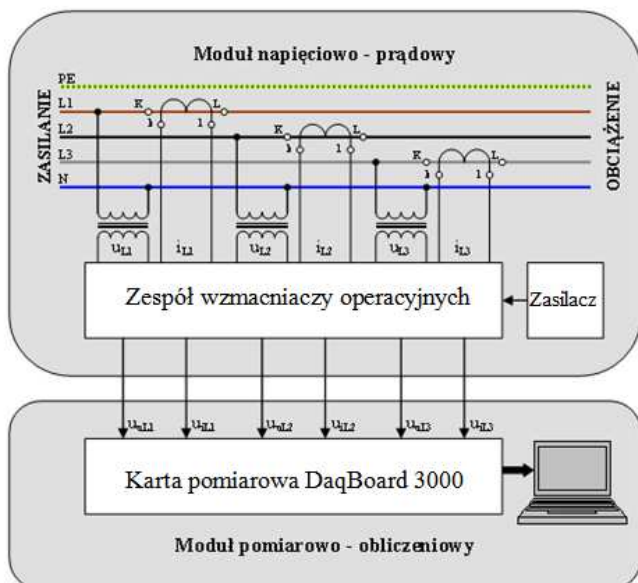
Układ automatycznej regulacji został wykonany w oparciu o sprzężenie zwrotne od prędkości przepływu powietrza w przewodzie głównym instalacji. Składał się z trzech zasadniczych części (rys. 2). Pierwszą z nich stanowił sterownik zbudowany w komputerze PC z kartą DAQBoard 3000. Jego zadaniem było wyliczenie sygnału różnicy ciśnień z napięcia uzyskanego z czujnika. Następnie na tej podstawie obliczana była w nim prędkość, wytwarzany uchyb regulacji i sygnał sterujący przetwornicę częstotliwości. Drugim elementem układu sterowania była przetwornica częstotliwości wraz z silnikiem i wentylatorem.

Przetwornica częstotliwości sterowana była napięciem 0-10V co odpowiadało częstotliwości wyjściowej 50-0 Hz. Ostatni element to rurka Prandtla i czujnik różnicy ciśnień wraz z elektroniką, stanowiące pętlę sprzężenia zwrotnego.



Rys. 2. Schemat układu automatycznej regulacji prędkości przepływu powietrza

W skład stanowiska badawczego wchodziły jeszcze: moduł napięciowo prądowy oraz moduł pomiarowo obliczeniowy (rys. 3).



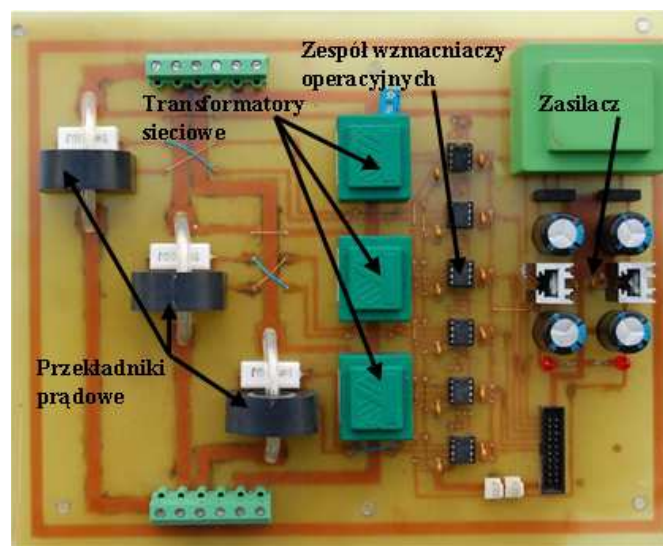
Rys. 3. Układ pomiarowy instalacji trójfazowej

Do pomiaru prądów na poszczególnych fazach zastosowano przekładniki prądowe $Ti1 \div Ti3$ PPAC1050, natomiast do pomiaru napięć fazowych zastosowano transformatory sieciowe $Ts1 \div Ts3$ TEZ1,5/D/6V. Zespół wzmacniaczy operacyjnych zbudowano z wzmacniaczy różnicowych $U1 \div U6$ INA134.

Do zasilania układów użyto dwupołkowego zasilacza z filtrami kondensatorowymi oraz stabilizatorami jednocuklowymi typu LM7815 oraz LM7915.

Układ zasilacza został zbudowany w oparciu o scalone stabilizatory rodziny LM7815 oraz LM7915. Zasilacz symetryczny $\pm 15V$ do zasilania wzmacniaczy operacyjnych zbudowany był z układów $U7$ dla napięcia dodatniego oraz $U8$ dla napięcia ujemnego. Transformator $Ts4$ służył do obniżenia napięcia sieciowego 230V do $2 \times 15V$ dla zasilacza symetrycznego. Za pomocą mostków prostowniczych $BR1$ oraz $BR2$ sieciowe napięcie przemiennie prostowane było do napięcia spolaryzowanego a następnie za pomocą kondensatorów prostowane do napięcia stałego.

Moduł napięciowo-prądowy (rys. 4), ze względu na konieczność galwanicznego oddzielenia modułu pomiarowo-obliczeniowego od mierzonej instalacji elektrycznej, zbudowano w oparciu o przekładniki prądowe oraz transformatory.



Rys. 4. Płytki modułu pomiaru napięciowo-prądowego

Do pomiaru prądów na poszczególnych fazach zastosowano przekładniki prądowe PPAC1050, natomiast do pomiaru napięć fazowych zastosowano transformatory sieciowe TEZ1,5/D/6V.

Ze względu na tolerancję przekładni znamionowych poszczególnych elementów do kompensacji błędów pomiarowych zastosowano zespół wzmacniaczy operacyjnych o regulowanym wzmocnieniu. Zastosowane przekładniki prądowe pozwalały na pomiar prądów nominalnych do 50 A, z możliwością pomiaru prądów do maksymalnie 125 A. Przekładnia nominalna zastosowanych przekładników prądowych to 1000 : 1, co dało prąd po stronie wtórnej 50 mA dla 50 A po stronie pierwotnej. W celu uzyskania napięcia proporcjonalnego do mierzonego prądu, podłączono równolegle do uzwojenia wtórnego przekładnika prądowego precyzyjny rezystor o wartości 100 Ω , dzięki czemu uzyskano na wyjściu napięcie proporcjonalne w zakresie 0÷5 V do mierzonego prądu 0÷50 A. Zastosowane do pomiaru napięć transformatory posiadały przekładnię nominalną 38,33 : 1 co dało napięcie 6 V po stronie wtórnej dla napięcia 230 V po stronie pierwotnej.

Mierzone napięcia, po korekcy na wzmacniaczach operacyjnych, trafiały do modułu pomiarowo-obliczeniowego, zbudowanego

w oparciu o komputer z kartą pomiarową DaqBoard 3000. Pomiar i obliczenia realizowano w programie DasyLab (rys. 5).

Głównym problemem, na jaki napotkano podczas badań było tzw. zaszumienie sygnału pochodzącego z czujnika różnicy ciśnień. W związku z tym w sterowniku należało zastosować odpowiedni układ eliminujący te zakłócenia (rys. 6). Do tego celu wybrano funkcję regresji, dzięki której na podstawie zebranych danych można estymować szukaną funkcję. Następnie z otrzymanej wartości tworzono wartość skuteczną i przy pomocy nieliniowej, wyznaczonej doświadczalnie funkcji, przeskalowano ją na sygnał różnicy ciśnień, na którego podstawie obliczano prędkość przepływu powietrza.

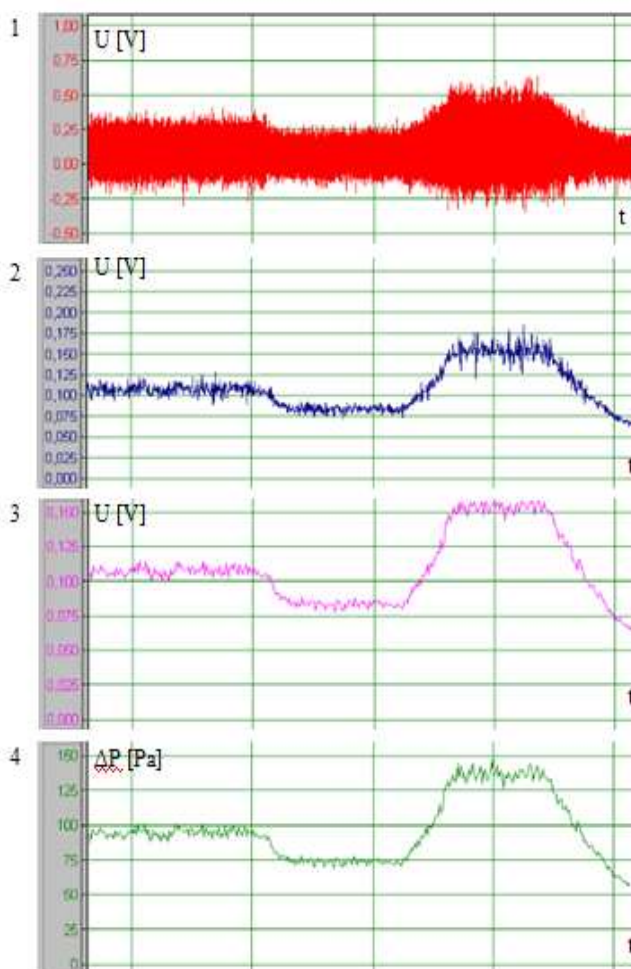


Rys. 6. Układ eliminacji zakłóceń z czujnika różnicy ciśnień

Przebiegi sygnałów w poszczególnych punktach układu eliminacji zakłóceń pokazane są na rys. 7.

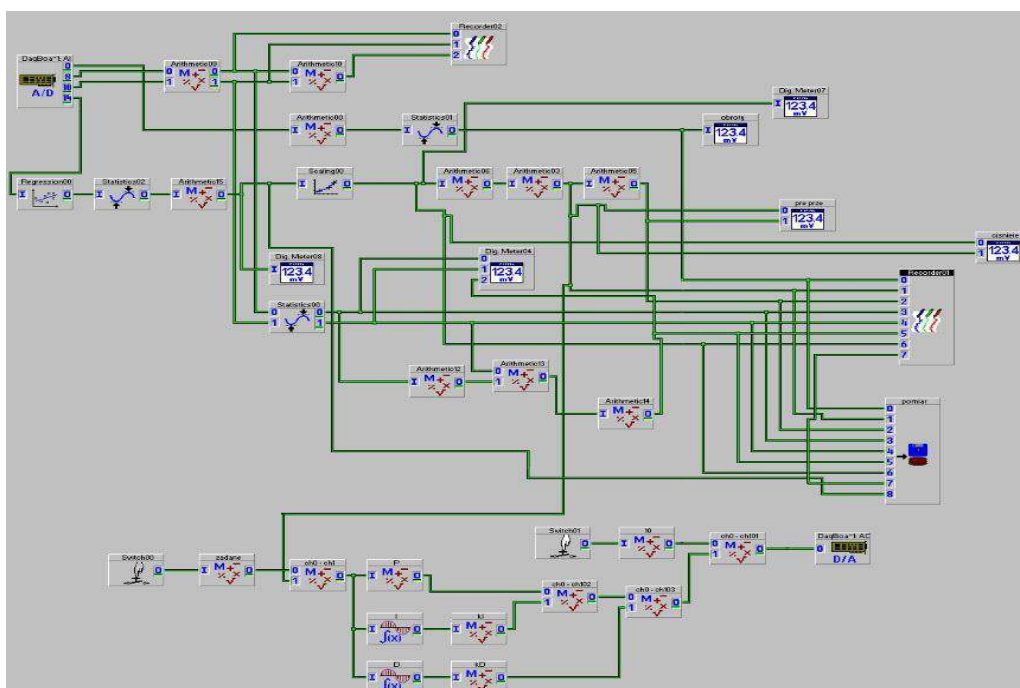
Do kontroli i pomiaru podstawowych parametrów eksploatacyjnych w tym prędkości przepływu powietrza zastosowano mikromanometr cyfrowy firmy TESTO typu 521 współpracujący z rurką Prandtla. Zastosowano oprogramowanie ComSoft 3 przeznaczone do zapamiętywania, odczytu i analizy danych pomiarowych.

Aby sprawdzić prędkość przepływu powietrza w pneumatycznej instalacji odciągowej należy dokonać pomiarów ciśnień w charakterystycznych punktach instalacji. Dokładność pomiaru wymaga, aby przepływ był ustabilizowany, a strumień jak najmniej zakłócony. Trzeba pamiętać o tym, aby zachować odpowiedni odstęp od elementów zakłócających, szczególnie nie wskazany jest pomiar bezpośrednio za wentylatorem, gdzie w przekroju mogą występować prędkości o znaku przeciwnym do głównego kierunku ruchu powietrza. Długości prostych odcinków przewodu (wielokrotność średnicy przewodu D) powinny wynosić: 8 – 10D przed przekrojem pomiarowym i 3 – 4D za miejscem pomiarowym. Jednak można te odcinki nieco zmniejszyć i przyjąć ok. 4D przed i 1 – 2D za przekrojem [5].



Rys. 7. Przebiegi sygnałów w poszczególnych punktach układu eliminacji zakłóceń

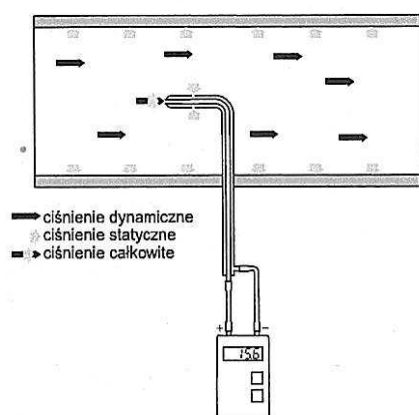
W rzeczywistości znalezienie odpowiednio długiego, prostego odcinka może być trudne. Należy wówczas wyznaczyć przekrój pomiarowy w miejscu gdzie spodziewane są najmniejsze zaburze-



Rys. 5. Schemat układu sterowania wykonany w programie DasyLab

nia przepływu. Przy pomiarach parametrów instalacji przemysłowych dopuszczalne jest dokonanie odczytu wartości ciśnienia dynamicznego tylko w jednym punkcie pomiarowym w odległości $0,2D$ od ścianki przewodu i co najmniej $5D$ od miejsca zaburzeń w prostoliniowym przepływie strumienia powietrza [4].

Podstawowym i najbardziej znanym przyrządem do pomiaru prędkości powietrza jest rurka Prandtla (rys. 8). Przyrząd ten składa się z dwóch koncentrycznych rurek z końcem wygiętym pod kątem prostym tak, że czoło rurki jest zwrócone prostopadle do kierunku przepływu. Zakończenie rurki jest zaokrąglone, aby ułatwić dostęp. Nos rurki posiada jeden czołowy otwór dla odbioru ciśnienia całkowitego oraz szereg otworków znajdujących się na obwodzie dla odbioru ciśnienia statycznego. Obydwa wejścia są połączone indywidualnie z króćcami znajdującymi się w ogonie rurki. Znajdujący się tam wskaźnik kierunku umożliwia prawidłowe ustawienie rurki względem kierunku przepływu.



Rys. 8. Rurka Prandtla wraz z mikromanometrem [2]

Pomiary prędkości w pneumatycznej instalacji odciągowej, sprowadzają się do określenia ciśnienia dynamicznego w badanym przekroju, w celu ustalenia prędkości przepływu powietrza przez ten przekrój [2].

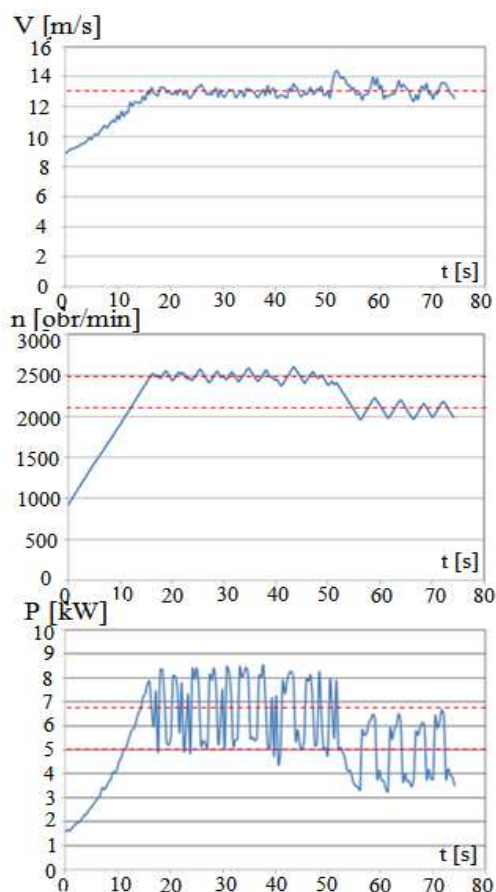
2. WYNIKI TESTOWANIA UKŁADU AUTOMATYCZNEJ REGULACJI PRĘDKOŚCI PRZEPLÝWU POWIETRZA

Pierwszym etapem testów było sprawdzenie działania układu automatycznej regulacji podczas otwierania i zamykania zasuw odcinających na odgałęzieniach bocznych oraz podczas zmiany zadawanej prędkości przepływu powietrza. W pierwszych dwóch przypadkach prędkość zadana ustawiona była na 13 m/s.

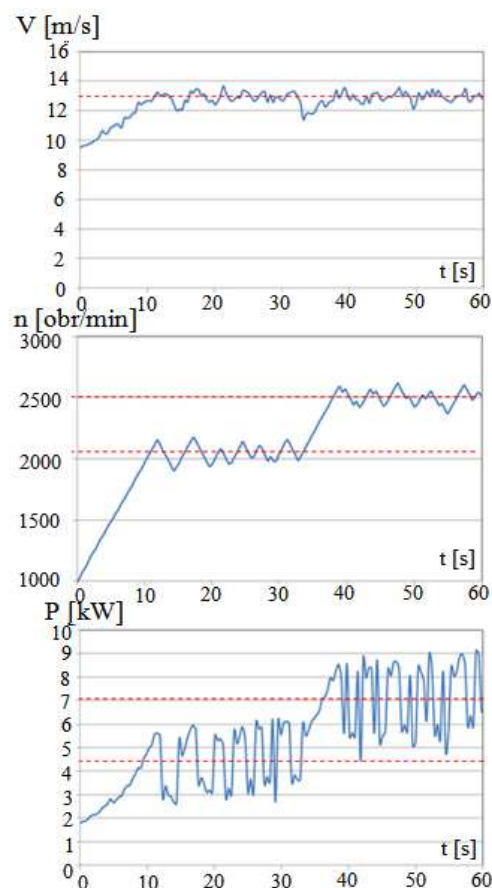
Na rys. 9 widoczny jest przypadek, w którym zasuwę na odgałęzieniach bocznych instalacji zostały otwarte i nastąpiło zmniejszenie obrotów silnika wentylatora z 2500 na 2100 obr/min oraz pobieranej przez niego mocy z 6,8 na 5,0 kW przy zachowaniu stałej zadanej prędkości przepływu powietrza.

Na rys. 10 opisana jest sytuacja odwrotna. Zasuwę w tym przypadku były zamykane, obroty i moc pobierana przez silnik wzrastały – odpowiednio z 2100 do 2500 obr/min oraz z 4,5 do 7,0 kW, natomiast zadana prędkość przepływu powietrza pozostawała na tym samym poziomie.

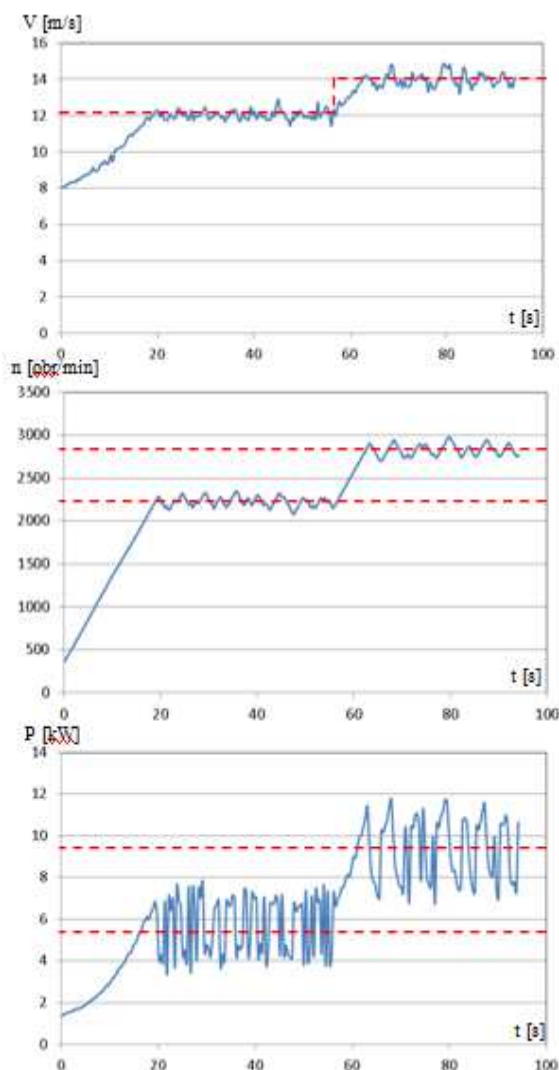
W trzecim przypadku (rys. 11) przedstawiono wariant, w którym zwiększono zadaną prędkość przepływu z 12 m/s do 14 m/s. Sytuacja taka może mieć miejsce w momencie, gdy usuwany jest inny rodzaj odpadów, np. drewno o większej wilgotności, wióry o większej masie lub powstałe na innej obrabiarce i wymagane jest zwiększenie prędkości odciągowej.



Rys. 9. Przebiegi podczas otwierania zasuw



Rys. 10. Przebiegi podczas zamykania zasuw



Rys. 11. Przebiegi podczas zmiany prędkości

Wszystkie wyniki testów wskazują na prawidłowe działanie układu automatycznej regulacji prędkości przepływu powietrza.

W każdym przypadku prędkość przepływu powietrza była utrzymywana na stałym zadanym poziomie.

Niepewność pomiarowa dla pomiarów prędkości przepływu powietrza wynosiła od 1,61% do 5,68%.

PODSUMOWANIE

Analizując zawarte w tym artykule wyniki testowania systemu pomiarowego i regulacji prędkości przepływu powietrza w oparciu o układ automatycznej regulacji można stwierdzić, że układ ten spełnia swoją funkcję. Utrzymuje stałą prędkość przepływu powietrza w przewodzie głównym, niezależnie od ilości otwartych zasuw odcinających na przewodach odciągowych. Dzięki układowi automatycznej regulacji możliwa jest też szybka zmiana wartości prędkości przepływu powietrza w instalacji w zależności od wymagań technologicznych i od żądanych parametrów eksploatacyjnych.

Analizując cykl pracy zakładu mechanicznej obróbki drewna, w którym rotacyjnie używa się poszczególne obrabiarki można zauważyć, że dzięki zastosowaniu przetwornicy częstotliwości z układem automatycznej regulacji, prędkość przepływu powietrza w instalacji będzie zawsze oscylowała wokół prędkości zadanej, a silnik wentylatora nie będzie nigdy pobierał więcej mocy niż jest to wymagane, co wymiennie wpływa na oszczędność energii. Wyniki testowania systemu pomiarowego i regulacji prędkości przepływu

powietrza wykazały możliwość automatycznego dostosowania parametrów pracy instalacji do rzeczywistych procesów pracy obrabiarek. Dostosowanie odciąganego powietrza przez instalację do zmiennego obciążenia obrabiarek odbywa się przez zamykanie zasuw przewodów odciągowych przy niepracujących obrabiarkach, czego konsekwencją są zmienne parametry eksploatacyjne pneumatycznej instalacji odciągowej. Sposobem na zachowanie parametrów eksploatacyjnych na żądanym poziomie jest doprowadzenie powietrza uzupełniającego do kolektora instalacji, zastosowanie przetwornicy częstotliwości oraz wspomnianego układu automatycznej regulacji prędkości przepływu powietrza. Wszystko to umożliwia zmniejszenie zużycia energii, jak również zachowanie parametrów eksploatacyjnych instalacji na wymaganym poziomie [6].

BIBLIOGRAFIA

1. Aksentowicz, R.; Uździcki, W., *Efektywność energetyczna instalacji pneumatycznego odwirowania i odpylania*. Przemysł Drzewny 2010, nr 11, 40-42.
2. Aksentowicz, R.; Uździcki W., *Pomiary parametrów eksploatacyjnych pneumatycznych instalacji wyciągowych*. Przemysł Drzewny 2006, nr 7-8, 38-40.
3. Blecken, J., *Optimierung der Staub- und Späneerfassung in stationären Holzbearbeitungsmaschinen*. Vulkan-Verlag. Essen 2004.
4. Dolny, S., *Transport pneumatyczny i odpylanie w przemyśle drzewnym*. Akademia Rolnicza. Poznań 1999.
5. Materiały informacyjne firmy Airflow.
6. Uździcki W., Aksentowicz R., Bachman P., Chciuk M., Pavlovkin J., *Improving the energy efficiency of pneumatic extraction systems by automating the process of air flow rate adjustment*, *Pomiary, Automatyka, Robotyka* 2/2013, 525-529.

MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEM FOR AIR FLOW DURING CHANGEABLE WORKING CONDITIONS IN PNEUMATIC EXTRACTION SYSTEM

Abstract

One way to reduce energy consumption is to use a frequency converter to adjust the speed of the fan motor. This paper presents an automatic control system based on feedback from the flow velocity of air in the main pipe system. The solution effectively improves the energy efficiency, that is, to reduce energy consumption.

Autorzy:

dr inż. Remigiusz Aksentowicz – Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy, Zakład Bezpieczeństwa Systemów Technicznych, e-mail: r.aksentowicz@iibnp.uz.zgora.pl

dr hab. inż. Waldemar Uździcki prof. UZ – Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy, Zakład Bezpieczeństwa Systemów Technicznych, e-mail: w.uzdzicki@iibnp.uz.zgora.pl