

Pomiary parametrów pracy pneumatycznej instalacji odciągowej przy różnych wariantach sterowania

Remigiusz Aksentowicz, Waldemar Uździcki

Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski, 65-001 Zielona Góra, ul. prof. Z. Szafrana 4

Streszczenie: Do usuwania odpadów w postaci wiórów i pyłów powstających przy mechanicznej obróbce drewna stosowane są pneumatyczne instalacje odciągowe (PIO). Niestety, istotnym problemem i zasadniczą wadą związaną z eksploatacją pneumatycznych instalacji odciągowych jest ich duża energochłonność. Najważniejszymi parametrami pracy – parametrami eksploatacyjnymi pneumatycznych instalacji odciągowych są: prędkość przepływu powietrza, strumień objętości powietrza oraz ciśnienie dynamiczne. Podczas eksploatacji instalacji te 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 sterowanie pracą instalacji i zmniejszenie energochłonności mogą być dodatkowe środki wyposażenia technicznego, m.in.: zasuwki odcinające na przewodach odciągowych – umożliwiają zamykanie przewodów przy niepracujących obrabiarkach; doprowadzenie 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; układy automatycznie sterujące i kontrolujące proces odciągowy. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów parametrów pracy pneumatycznej instalacji odciągowej o układzie kolektorowym przy różnych wariantach jej sterowania i dodatkowego wyposażenia technicznego.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, pneumatyczne instalacje odciągowe, prędkość przepływu powietrza

1. Wprowadzenie

Do usuwania odpadów powstających w trakcie mechanicznej obróbki drewna stosowane są pneumatyczne instalacje odciągowe PIO, określane również jako instalacje pneumatycznego odwiórowania lub instalacje odpylania obrabiarek – w zależności od tego do jakiego rodzaju odpadów są przeznaczone. Zgodnie z dyrektywą [2] i zastępującą ją w Unii Europejskiej oraz w Polsce dyrektywą [3] oraz ustawą [9], istnieje potrzeba

poprawy efektywności wykorzystania energii przez użytkowników końcowych.

Dawno już wykazano, że branża drzewna charakteryzuje się dużą energochłonnością [1, 4], a jest to związane nie tylko z zużywaniem energii przez obrabiarki do mechanicznej obróbki drewna, ale głównym źródłem zapotrzebowania na energię są instalacje odwiórowania i odpylania niezbędne do usunięcia wiórów i pyłów z przestrzeni roboczej obrabiarek i przetransportowanie ich na zewnątrz hali oraz instalacje wentylacyjne.

W celu zmniejszenia zużycia energii przez instalację prowadzono badania dotyczące jednoczesności pracy obrabiarek, w których stwierdzono, że chwilowe zapotrzebowanie na odwiórowanie i zużycie energii są nierównomierne w trakcie trwania zmiany roboczej i wahają się w szerokich przedziałach [6–8, 10]. Rozpatrywane były więc różne możliwości dostosowania pracy instalacji odciągowej do zmiennych procesów pracy obrabiarek do drewna. Wynikiem tych rozważań są propozycje zmian wprowadzanych w zakresie konstrukcji i sposobie eksploatacji pneumatycznych instalacji odciągowych.

Autor korespondujący:

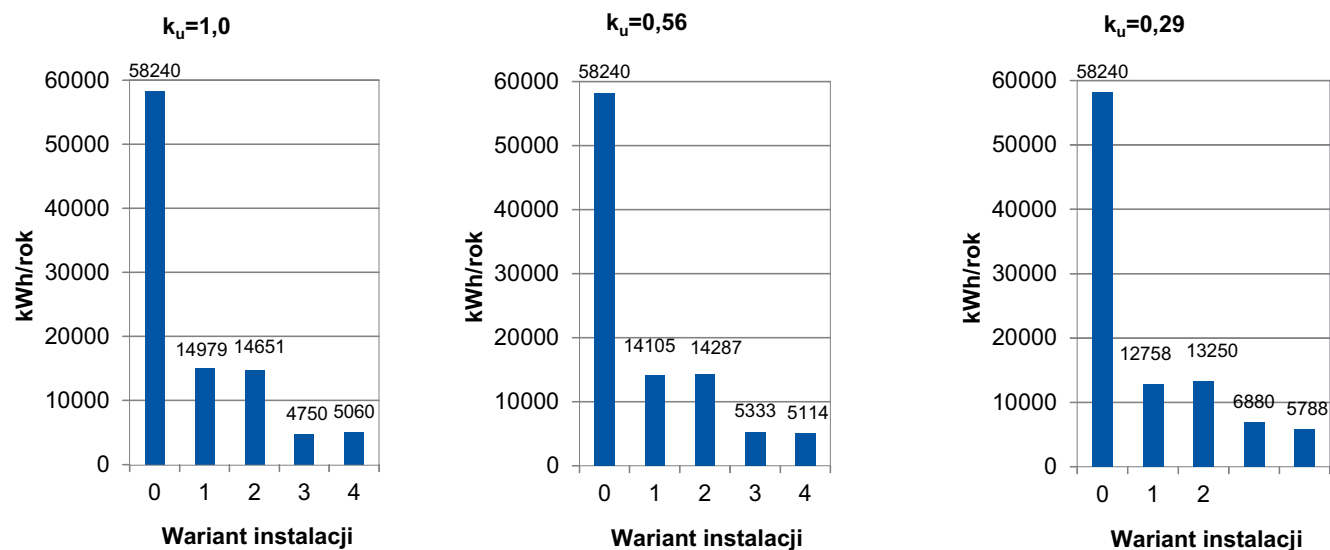
Remigiusz Aksentowicz, R.Aksentowicz@iibnp.uz.zgora.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 18.11.2014 r., przyjęty do druku 21.12.2014 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0



Rys. 1. Roczne zużycie energii elektrycznej przez silnik wentylatora $E_{el,s}$ w zależności od współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u

Fig. 1. Annual electricity consumption of fan motor $E_{el,s}$ in relation to coefficient of simultaneous operation of machine tools k_u

Z przeprowadzonych badań, analiz i obserwacji wiadomo, że zastosowanie zmian w postaci rozwiązań technicznych wywiera wpływ na zmienne w czasie parametry eksploatacyjne instalacji [5, 10]. Jednak w dotychczasowych badaniach nie analizowano relacji między zmiennością parametrów eksploatacyjnych, a efektywnością energetyczną pneumatycznych instalacji odciągowych w warunkach eksploatacji w zależności od zastosowanego wyposażenia technicznego instalacji.

Na wielkość zużycia energii wywołanej pracą pneumatycznej instalacji odciągowej składa się:

- zużycie energii elektrycznej wywołane pracą silników wentylatorów odciągowych i nawiewnych;
- zużycie ciepła potrzebnego do podgrzania w okresie grzewczym nawiewanego powietrza kompensacyjnego do hali przemysłowej.

Praca pneumatycznej instalacji odciągowej związana jest również bezpośrednio z pracą obrabiarek do drewna, więc można przyjąć, że kolejnym składnikiem mającym wpływ na energochłonność instalacji jest zużycie energii przez silniki obrabiarek.

Badania wykazały możliwość zmniejszenia zużycia energii przez dostosowanie 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. Jednym ze sposobów na zachowanie parametrów eksploatacyjnych na żądanym poziomie jest doprowadzenie powietrza uzupełniającego do kolektora instalacji oraz zastosowanie przetwornicy częstotliwości. Umożliwia to zmniejszenie zużycia energii, jak również zachowanie parametrów eksploatacyjnych na wymaganym poziomie [11].

2. Przebieg badań

Badania wykonano przeprowadzając pomiary na pneumatycznej instalacji odciągowej o układzie kolektorowym, która została zaprojektowana dla wariantu projektowego $w_p = 0,5$, co oznacza, że będzie pracować przy współczynniku jednoczesności użytkowania obrabiarek $k_u = 0,5$. Stosownie do tego dobrano średnicę przewodu głównego, wentylator i wielkość silnika wentylatora. Na przewodach odciągowych (bocznych) zamontowano ręczne zasuwki odcinające.

Badania przeprowadzono dla 4 wariantów wyposażenia technicznego instalacji:

1. Pneumatyczna instalacja odciągowa bez dodatkowego wyposażenia technicznego (brak możliwości sterowania prędkości przepływu powietrza – prędkość zmienia się w zależności od liczby otwartych zasuw na odgałęzieniach bocznych instalacji i współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u).

2. Pneumatyczna instalacja odciągowa wyposażona w dodatkowy przewód (utrzymywanie stałej prędkości przepływu powietrza w przewodzie głównym instalacji) doprowadzający powietrze z zewnątrz hali do zbiornika wyrównawczego (kolektora) zaopatrzonego w jednopłaszczyznową przepustnicę sterowaną automatycznie.

3. Pneumatyczna instalacja odciągowa wyposażona w przetwornicę częstotliwości Hitachi J300 służącą do zmiany prędkości obrotowej silnika wentylatora przy zadanej stałej (dowolnie zmienianej) prędkości przepływu powietrza.

4. Pneumatyczna instalacja odciągowa wyposażona w przetwornicę częstotliwości Hitachi J300 służącą do zmiany prędkości obrotowej silnika wentylatora oraz w dodatkowy przewód doprowadzający powietrze z zewnątrz hali do zbiornika wyrównawczego (kolektora) zaopatrzonego w jednopłaszczyznową przepustnicę sterowaną automatycznie.

W pierwszej serii przeprowadzono pomiary parametrów eksploatacyjnych w przewodzie głównym w_0 i w otwartych przewodach odciągowych w_1 dla siedmiu współczynników użytkowania obrabiarek k_u . Do pomiarów wykorzystano układ pomiarowo-obliczeniowy, zbudowany w oparciu o komputer z kartą pomiarową DaqBoard 3000 [11]. Pomiary i obliczenia realizowano w programie DasyLab, do pomiarów jako sonda została wykorzystana rurka Prandtla, którą umieszczono w jednym przekroju pomiarowym każdego z rurociągów, w miejscach gdzie prędkość przepływu powietrza jest w przybliżeniu równa średniej prędkości dla całego przekroju – tzn. w odległości $0,2d$ od ścianki przewodu, w płaszczyźnie oddalonej od miejsca zaburzeń w prostoliniowym przepływie strumienia powietrza co najmniej $5d$ (d – średnica rurociągu). 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. W pierwszej

serii pomiary wykonano dla stałej prędkości obrotowej silnika wentylatora dla dwóch wariantów wyposażenia instalacji.

Druga seria obejmowała pomiary parametrów eksploatacyjnych w przewodzie głównym i w przewodach odciągowych z wykorzystaniem przetwornicy częstotliwości dla różnych wartości prędkości obrotowej silnika wentylatora. W drugiej serii pomiary wykonano dla dwóch kolejnych wariantów wyposażenia instalacji.

3. Wyniki badań

Na podstawie rejestracji rzeczywistych parametrów eksploatacyjnych instalacji pracujących w warunkach zmiennych można było precyzyjnie określić zużycie energii przez pneumatyczne instalacje odciągowe w zależności od wariantów wyposażenia technicznego instalacji.

Na rys. 2 dodatkowo przedstawiono wartości obliczeniowe dla wariantu 0 instalacji. Jest to wariant instalacji (charakteryzujący się największym zużyciem energii) zaprojektowany dla $w_p = 1,0$, czyli przy założeniu, że wszystkie obrabiarki pracują cały czas – wariant użytkowy $k_u = 1,0$. Wariant 0 ($w_p = 1,0$) został przedstawiony w celu bardziej wyrazistego pokazania znaczenia uwzględniania warunków zmiennych.

Zużycie energii przez silniki obrabiarek $E_{el,s}$ dla wariantu 1 instalacji przy $k_u = 1,0$ wynosi 25,7 % zużycia energii przez silniki obrabiarek $E_{el,s}$ w stosunku do wariantu 0. Dla wariantu 3 instalacji przy $k_u = 1,0$ jest to już 8,15 %.

Zużycie energii elektrycznej dla różnych wariantów instalacji w zależności od współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u przedstawiono na rys. 2.

3.1. Wyniki badań PIO o wariancie projektowym $w_p = 0,5$

Rys. 2 pokazuje zmiany parametrów eksploatacyjnych dla siedmiu wartości współczynnika jednoczesności użytkowania k_u

– w czasie rejestracji pomiarów otwierano ręcznie zasuwę na przewodach odciągowych od obrabiarek w odstępach 60 sekundowych. Pierwsze 60 sekund pomiaru oznacza ($k_u = 0,14$), że została 1 zasuwka otwarta, a 6 zasuw było zamkniętych na odgałęzieniach bocznych instalacji (odpowiada to 1 włączonej obrabiarce i 6 niepracujących obrabiarek) i tak co 60 sekund do otwarcia wszystkich zasuw na przewodach odciągowych i włączenia wszystkich obrabiarek ($k_u = 1,0$). Dla pozostałych wariantów pomiary były przeprowadzone w sposób analogiczny.

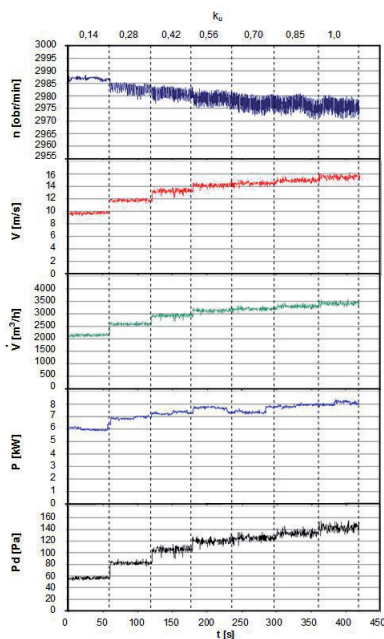
Z wyników przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zmiany współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u wywierają wpływ na zmianę parametrów eksploatacyjnych instalacji.

Spadek wartości współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u powoduje spadek prędkości przepływu powietrza w przewodzie głównym od $V = 15,8$ m/s do $V = 10$ m/s, przy jednoczesnym wzroście prędkości w przewodach odciągowych do $V = 24$ m/s.

Spadek wartości współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u powoduje wzrost prędkości obrotowej silnika wentylatora od $n = 2975$ obr/min do $n = 2987$ obr/min przy jednoczesnym spadku prędkości przepływu powietrza w przewodzie głównym do $V = 10$ m/s.

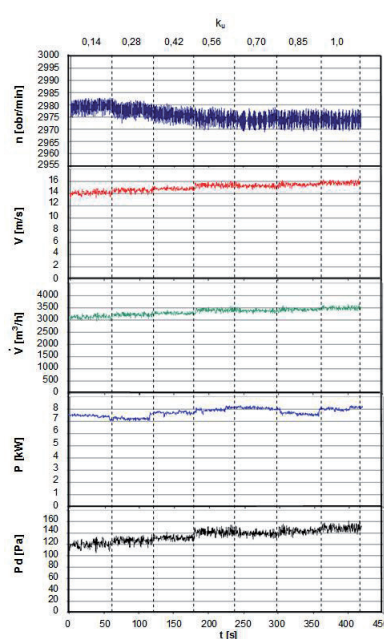
Spadek wartości współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u powoduje spadek mocy czynnej zużywanej przez silnik wentylatora od $P = 8,0$ kW do $P = 6,0$ kW. Wraz ze wzrostem współczynnika użytkowania obrabiarek k_u wzrasta prędkość przepływu powietrza w przewodzie głównym od $V = 10,0$ m/s do $V = 15,8$ m/s oraz moc zużywana przez silnik wentylatora od $P = 6,0$ kW do $P = 8,0$ kW.

Spadek wartości współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u powoduje spadek mocy czynnej zużywanej przez silnik wentylatora od $P = 8,0$ kW do $P = 6,0$ kW przy jednoczesnym wzroście prędkości obrotowej silnika wentylatora od $n = 2975$ obr/min do $n = 2987$ obr/min.



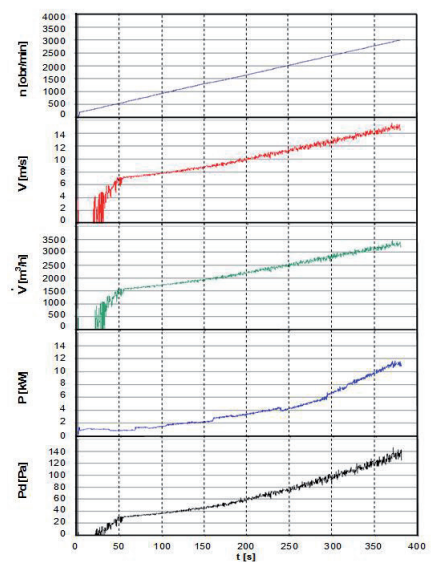
Rys. 2. Określone na drodze pomiarowej wartości parametrów eksploatacyjnych w przewodzie głównym w_p przy różnych wartościach współczynnika jednoczesności użytkowania k_u (wariant 1)

Fig. 2. Measured operating parameters in the main line w_p at different values of coefficient of simultaneous operation of machine tools k_u (Option 1)



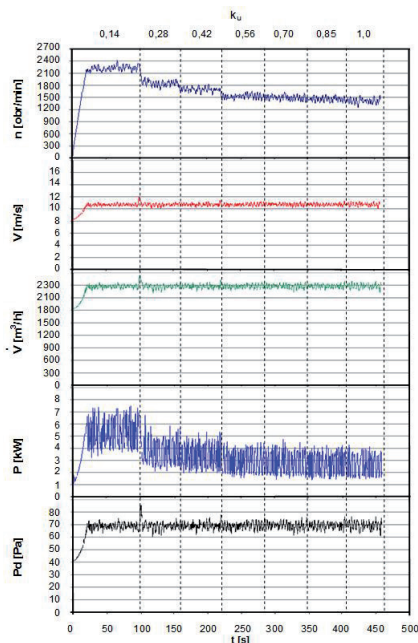
Rys. 3. Określone na drodze pomiarowej wartości parametrów eksploatacyjnych w przewodzie głównym w_p przy różnych wartościach współczynnika jednoczesności użytkowania k_u (wariant 2)

Fig. 3. Measured operating parameters in the main line w_p at different values of coefficient of simultaneous operation of machine tools k_u (Option 2)

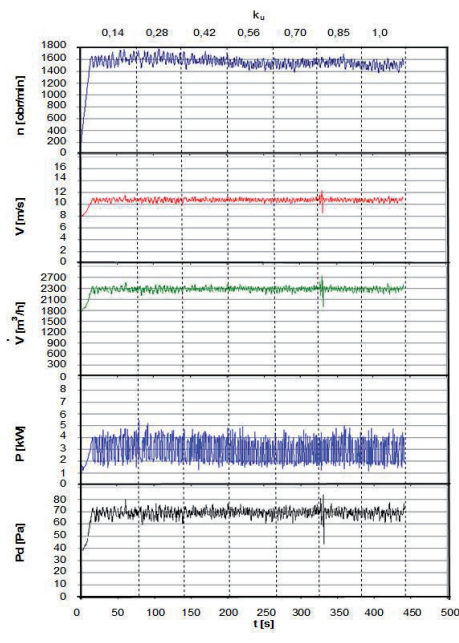


Rys. 4. Określone na drodze pomiarowej wartości parametrów eksploatacyjnych w przewodzie głównym w_p dla współczynnika jednoczesności użytkowania $k_u = 1,0$ w zakresie od 0-50 Hz

Fig. 4. Measured operating parameters in the main line w_p for different values of coefficient of simultaneous operation of machine tools $k_u = 1,0$ in a range from 0 to 50 Hz



Rys. 6. Określone na drodze pomiarowej wartości parametrów eksploatacyjnych w przewodzie głównym w_0 przy różnych wartościach współczynnika jednoczesności użytkowania k_u (wariant 4)
Fig. 6. Measured operating parameters in the main line w_0 at different values of coefficient of simultaneous operation of machine tools k_u (Option 4)



Rys. 5. Określone na drodze pomiarowej wartości parametrów eksploatacyjnych w przewodzie głównym w_0 przy różnych wartościach współczynnika jednoczesności użytkowania k_u (wariant 3)
Fig. 5. Measured operating parameters in the main line w_0 at different values of coefficient of simultaneous operation of machine tools k_u (Option 3)

3.2. Wyniki badań PIO o wariacie projektowym $w_p = 0,5$ z dodatkowym przewodem

Na rys. 3 przedstawiono wartości parametrów mierzonych w czasie dla różnych wartości współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u .

Z wyników przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zmiany współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek ku wywierają wpływ na zmianę parametrów eksploatacyjnych instalacji, jednak przy zastosowaniu przewodu dodatkowego doprowadzającego powietrze do przewodu głównego zmiany te nie są aż tak widoczne jak przy instalacji standardowej, co jest zrozumiałe, ponieważ zastosowanie przewodu dodatkowego odpowiada za utrzymywanie prędkości przepływu powietrza w przewodzie głównym na stałym poziomie.

Spadek wartości współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u powoduje niewielki spadek prędkości przepływu powietrza w przewodzie głównym w zakresie $V = 1,6$ m/s, przy jednoczesnym wzroście prędkości przepływu w przewodach odciągowych.

Spadek wartości współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u od wartości $k_u = 0,56$ powoduje wzrost prędkości obrotowej silnika wentylatora od $n = 2974$ obr/min do $n = 2979$ obr/min przy jednoczesnym spadku prędkości przepływu powietrza w przewodzie głównym od $V = 15,8$ m/s do $V = 14,2$ m/s.

Spadek wartości współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u powoduje spadek mocy czynnej zużywanej przez silnik wentylatora od $P = 8,1$ kW do $P = 7,1$ kW. Wraz ze wzrostem współczynnika użytkowania obrabiarek od $k_u = 0,56$ wzrasta prędkość przepływu powietrza w przewodzie głównym oraz moc zużywana przez silnik wentylatora.

Spadek wartości współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u powoduje spadek mocy czynnej zużywanej przez silnik wentylatora od $P = 8,1$ kW do $P = 7,1$ kW, przy jed-

noczesnym wzroście prędkości obrotowej silnika wentylatora od $n = 2974$ obr/min do $n = 2979$ obr/min.

3.3. Wyniki badań PIO o wariacie projektowym $w_p = 0,5$ z przetwornicą częstotliwości

Na rys. 4 przedstawiono wartości parametrów mierzonych w czasie dla współczynnika jednoczesności wykorzystania obrabiarek $k_u = 1,0$ w zakresie od 0–50 Hz – przetwornica częstotliwości funkcja START (0 Hz) – STOP (50 Hz).

Rys. 5 pokazuje zmiany parametrów eksploatacyjnych dla siedmiu wartości współczynnika jednoczesności użytkowania $k_u = 0,14-1,0$ przy zadanej stałej prędkości przepływu $V = 10,8$ m/s.

3.4. Wyniki badań PIO o wariacie projektowym $w_p = 0,5$ z przetwornicą częstotliwości oraz z przewodem dodatkowym

Rys. 6 pokazuje zmiany parametrów eksploatacyjnych dla siedmiu wartości współczynnika jednoczesności użytkowania $k_u = 0,14-1,0$ przy zadanej stałej prędkości przepływu powietrza $V = 10,8$ m/s.

4. Podsumowanie

W badaniach wykorzystano pneumatyczną instalację odciągową o układzie kolektorowym, która była wyposażona w dodatkowe środki techniczne.

W wyniku przeprowadzonych badań parametrów pracy instalacji sformułowano następujące wnioski:

- stosowanie przetwornicy częstotliwości do regulacji prędkości obrotowej silnika wentylatora w czasie eksploatacji instalacji pozwala osiągnąć znaczne nawet 83 % oszczędności (energii elektrycznej i ciepła),
- zastosowanie przewodu dodatkowego doprowadzającego powietrze do przewodu głównego instalacji oraz jednoczesne stosowanie przetwornicy częstotliwości znacznie obniża zużycie ciepła w budynku przemysłowym – np. dla współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek $k_u = 0,56$ oszczędność ciepła wynosi aż 94 %,
- zużycie energii elektrycznej i ciepła związane z pracą pneumatycznej instalacji odciągowej dzięki zastosowaniu dodatkowego wyposażenia technicznego może być mniejsze nawet o połowę,
- stosowanie środków dodatkowego wyposażenia technicznego w postaci przetwornicy częstotliwości i przewodu dodatkowego pozwala utrzymywać parametry eksploatacyjne na żądanym poziomie oraz ma znaczny wpływ na poprawę efektywności energetycznej instalacji,
- największą efektywnością energetyczną cechowała się pneumatyczna instalacja odciągowa wyposażona w przewód dodatkowy (wariant 2) oraz w przetwornicę częstotliwości i przewód dodatkowy (wariant 4).

Bibliografia

1. Dolny S., Strumiński J., *Technologiczne projektowanie zakładów mechanicznej obróbki drewna*, Akademia Rolnicza, Poznań 1993.

2. Dyrektywa 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5.04.2006r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylająca dyrektywę Rady 93/76/EWG
3. Dyrektywa 2012/27/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25.10.2012r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE.
4. Lis K., Koperski K., *Charakterystyka rachunku kosztów w przedsiębiorstwach przemysłu drzewnego*. „Przemysł Drzewny”, 5/1999, 12-15.
5. Litomisky A., *On-Demand Ventilation Energy Saling in Industrial Applications*. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, 6/2007, 91-102.
6. Moeller S.T., *Energy Efficiency: Issues and Trends*. Nova Publishers. New York 2002.
7. Suska M., *Metodyka racjonalizowania kosztów utrzymania środowiska pracy*. Rozprawa doktorska. Poznań 2002.
8. Szelemej Z., *Wpływ organizacji czasu pracy instalacji na energochłonność procesu odwiórowywania obrabiarek*, „Przemysł Drzewny”, 3/1993, 22-24.
9. Ustawa o efektywności energetycznej z 15.04.2011 r. Dziennik Ustaw Nr 94. Poz. 551.
10. Uździcki W., *Tendencje w projektowaniu elastycznych systemów pneumatycznego odwiórowania*. „Przemysł Drzewny”, 3/2002, 18-20.
11. 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.

Measurements of Parameters of Pneumatic Dust Extraction Installation with Different Control Options

Abstract: For waste disposal in the form of chips and dust created by mechanical wood processing plants pneumatic extraction systems are applied. Unfortunately, a significant problem and the main drawback related to the operation of pneumatic extraction systems is their high energy intensity. The key working parameters – performance parameters of pneumatic extraction systems are: air velocity, air volume flow rate and dynamic pressure. During the operation of the installation these parameters change. Air velocity in the side branches of the system should be so selected to be equal to air velocity in the main line where the branches are connected. Air flow should take place at a speed not less than the minimum value required for each of the machine tool and the types of waste. The following, among others, may be used as elements for control of the installation and the reduction of energy consumption: gate valves on extraction lines – allow for the closure of the lines at the non-working machine tools; flow of additional air from outside the hall to installation collector – keeps the air velocity in the main line at the required level; frequency converters – used to control the speed of the fan impeller; systems that automatically command and control the extraction process. The article presents the results of measurements of parameters of pneumatic extraction systems featuring manifold system with different variations of its control and additional technical equipment.

Keywords: energy efficiency, pneumatic hood installation, air flow velocity

dr hab. inż. Waldemar Uździcki, prof. UZ

W.Uzdzicki@iibnp.uz.zgora.pl

Profesor nadzwyczajny w Instytucie Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy, Wydział Mechaniczny Uniwersytetu Zielonogórskiego. Kierownik Zakładu Bezpieczeństwa Systemów Technicznych. Specjalność naukowa: budowa i eksploatacja maszyn, transport pneumatyczny.



dr inż. Remigiusz Aksentowicz

R.Aksentowicz@iibnp.uz.zgora.pl

Adiunkt w Instytucie Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy, Wydział Mechaniczny Uniwersytetu Zielonogórskiego. Członek Zrzeszenia Audytorów Energetycznych i Polskiego Towarzystwa Ergonomicznego.

