

Pomiary poboru mocy przez mieszarki masy formierskiej

E. Ziółkowski^a, K. Smyksy^a, R. Wrona^a

^a Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: ez@agh.edu.pl

Otrzymano 22.10.2013; zaakceptowano do druku 12.12.2013

Streszczenie

W artykule przedstawiono zarys metodyki pomiarów poboru mocy przez mieszarki masy formierskiej, z wykorzystaniem oryginalnego komputerowego systemu przeznaczonego do monitorowania i rejestracji chwilowych wartości napięć, prądów i mocy pobieranej przez odlewnicze maszyny i urządzenia o napędzie elektrycznym oraz analizatora jakości energii elektrycznej KEW 6310 firmy Kyoritsu. Powyższy system umożliwia kontrolę eksploatacyjnych parametrów tych urządzeń z uwzględnieniem energochłonności. Poprzez monitorowanie pracy mieszarek, możliwa jest również ocena procesu technologicznego sporządzania masy formierskiej. Metodykę pomiarów oraz sposób analizy wybranych wyników omówiono na przykładzie badań trzech różnych mieszarek: przemysłowej mieszarki krążnikowej, prototypowej mieszarki wirnikowej oraz nowoczesnej, wirnikowej mieszarki laboratoryjnej. Przeprowadzone badania potwierdziły funkcjonalność i przydatność zastosowanego w pomiarach mikroprocesorowego systemu. Umożliwia on określenie szeregu istotnych parametrów z punktu widzenia energochłonności pracy napędów mieszarki. Podstawowe, istotne aspekty monitoringu poboru mocy to: optymalizacja i kontrola procesu mieszania, uwzględniająca jakość sporządzanej masy formierskiej oraz ocenę poprawności pracy mieszarki. Podkreślenia wymaga również możliwość wykorzystania wyników pomiarów w optymalizacji konstrukcji i eksploatacji urządzenia. W badaniach potwierdzono wpływ zmiany wilgotności masy na wybrane parametry energetyczne w procesie mieszania masy.

Słowa kluczowe: monitoring urządzeń odlewniczych, przygotowanie mas formierskich, mieszarki odlewnicze

1. Wprowadzenie

Monitoring spełnia ważną rolę w nadzorze eksploatacji i identyfikacji działania urządzeń technologicznych. Szczególną rolę przypisuje się procesowi eksploatacji. Ocena eksploatacji polega na badaniu efektywności urządzeń, wynikiem której są zmiany ilościowe, jakościowe oraz stanu fizyko-chemicznego materiałów i surowców stosowanych w procesie technologicznym. Przykładem przekształcenia właściwości materiałów są procesy sporządzania mas formierskich, realizowane w mieszarkach. Niezależnie od konstrukcji mieszarki, podstawowym jej zespołem jest napęd elektryczny zintegrowany z mechanizmem roboczym [1, 4, 5]. Mechanizm mieszający jest poddawany obciążeniu, który ma charakter zmienny. Obciążenie to- również związane ze zmianą właściwości masy formierskiej, można uchwycić ilościowo

poprzez pomiary chwilowych wartości napięć, prądów i mocy pobieranej przez napęd. Na podstawie pomiarów można określić wskaźniki charakteryzujące energochłonność.

W każdej metodzie pomiarowej dokładność wyników jest uzależniona od jakości przyrządów mierzących określone wielkości. W prezentowanej metodzie pomiaru zastosowano autorski komputerowy system przystosowany do badań odlewniczych maszyn i urządzeń [10, 11, 14]. W jego konstrukcji znamienne jest zastosowanie przekładników napięciowych i przekładników prądowych (w każdej z trzech faz układu zasilania), z których sygnały dostarczane są do mikroprocesorowego układu przetwarzającego i transmitującego wartości chwilowe napięć i prądów poprzez interfejs USB do komputera rejestrującego wszystkie pomiary. Dokładniejszą charakterystykę przyrządu przedstawiono w publikacji [14]. W pomiarach

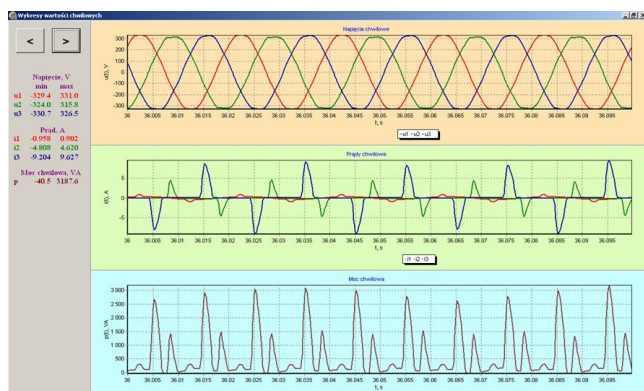
prowadzonych w warunkach przemysłowych, ze względu na zakres wartości mierzonych wielkości zastosowano analizator jakości energii elektrycznej KEW 6310 firmy Kyoritsu.

2. Wyniki badań

Zaprezentowane wyniki badań dotyczą mieszarki krążnikowej (stanowiącej wyposażenie agregatu AG-015 produkcji Dozamet, Nowa Sól [8]) pracującej w odlewni o małym stopniu mechanizacji oraz dwóch mieszarek wirnikowych: prototypu zbudowanego na bazie mieszarki skrzydełkowej – MS 75 produkcji Dozamet [8] oraz laboratoryjnej firmy Technical Nowa Sól [9]. Ta ostatnia jest odwzorowaniem mieszarek nowej generacji, instalowanych w odlewniach o wysokim stopniu mechanizacji i automatyzacji [1, 13]. W strukturze konstrukcyjnej tej mieszarki zasadniczymi mechanizmami są dwa niezależne napędy miski i wirnika mieszającego. Napędy mieszarek wirnikowych zasilane były przez przemienniki częstotliwości, co umożliwiało zmianę prędkości obrotowej napędów.

Oryginalność całego mikroprocesorowego systemu monitorowania działania badanej mieszarki tkwi w jego możliwościach pomiaru mocy napędów i układów sterowania zarówno pomiędzy siecią zasilającą a urządzeniem jak również pomiędzy przemiennikiem częstotliwości a napędem. Parametrami mierzonymi są wartości chwilowe sygnałów w przebiegach okresowych o specyficznych kształtach, wynikających z zastosowanych urządzeń sterujących pracą napędów. Poprzez zastosowanie odpowiedniego oprogramowania dokonywane są obliczenia zasadniczych wskaźników mocy. Podstawowym wskaźnikiem jest wartość mocy czynnej pobieranej przez napęd urządzenia technologicznego.

Przykładowe wartości zmierzonych przebiegów chwilowych charakteryzujących pracę laboratoryjnej mieszarki wirnikowej oraz prototypowej mieszarki wirnikowej przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Okno programu z wybranymi chwilowymi przebiegami napięć, prądów oraz mocy podczas pracy laboratoryjnej mieszarki wirnikowej - a oraz prototypowej mieszarki wirnikowej - b

W zastosowanym systemie pomiarowym wartości skuteczne obliczane są na podstawie zarejestrowanych wartości chwilowych napięć i prądów w zadeklarowanych przedziałach czasowych. W tym przypadku istotny jest dobór odpowiedniego czasu

próbkowania sygnałów w którym obliczane są wartości skuteczne poszczególnych wielkości energetycznych. Ze względu na szybkozmienny charakter parametrów elektrycznych, wymagania dotyczące szybkości rejestracji w systemie mikroprocesorowym są wysokie. Duża ilość możliwych do rejestracji sygnałów, wymaga zastosowania dużego rozmiaru pamięci masowej i operacyjnej systemu oraz odpowiednio szybkich algorytmów przetwarzania cyfrowego sygnałów (DSP) [2, 6]. Pod tym względem opracowany system mikroprocesorowy przewyższa wiele z oferowanych na rynku analizatorów jakości energii.

3. Analiza i ocena wyników pomiarów

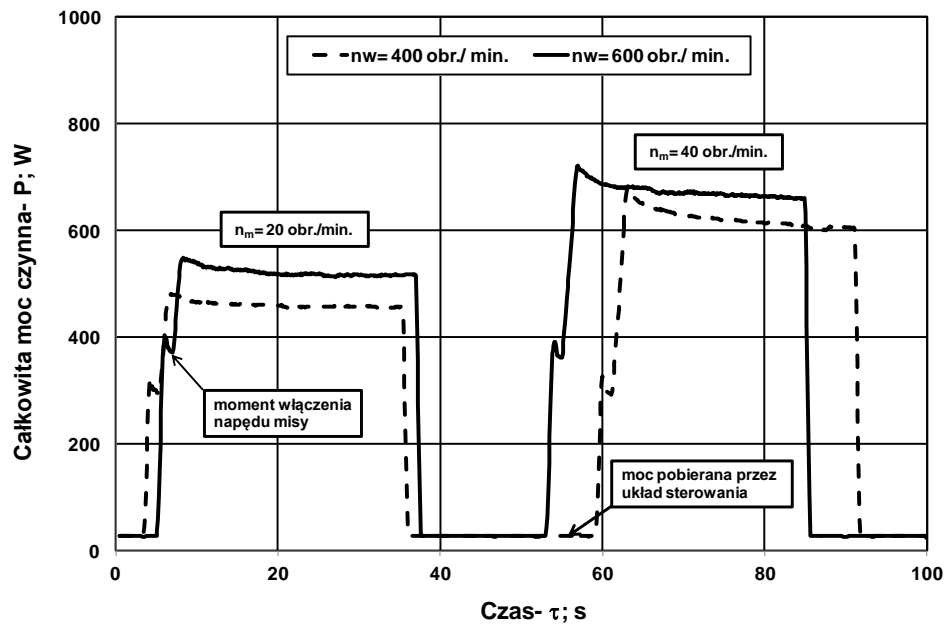
W metodyce badania stanów działania urządzeń, wyróżnia się badanie stanu bez obciążenia materiałowego (bieg jałowy) oraz w stanie obciążenia zależnego od realizowanej fazy procesu technologicznego. W przypadku badanych mieszarek, bieg jałowy dotyczył pracy urządzeń nienapełnionych masą formierską. Na podstawie zmierzonych wartości chwilowych napięć i prądów, obliczono algorytmem DSP, wartość mocy skutecznej pobieranej przez układ sterowania i napędu mieszarki.

Pomiary przeprowadzono w warunkach zmienianej wartości prędkości obrotowej napędu miski przy zadanej prędkości obrotowej napędu wirnika. Przykładowe wyniki z szerszych badań laboratoryjnej mieszarki wirnikowej [10], przedstawiono na rysunku 2 i 3.

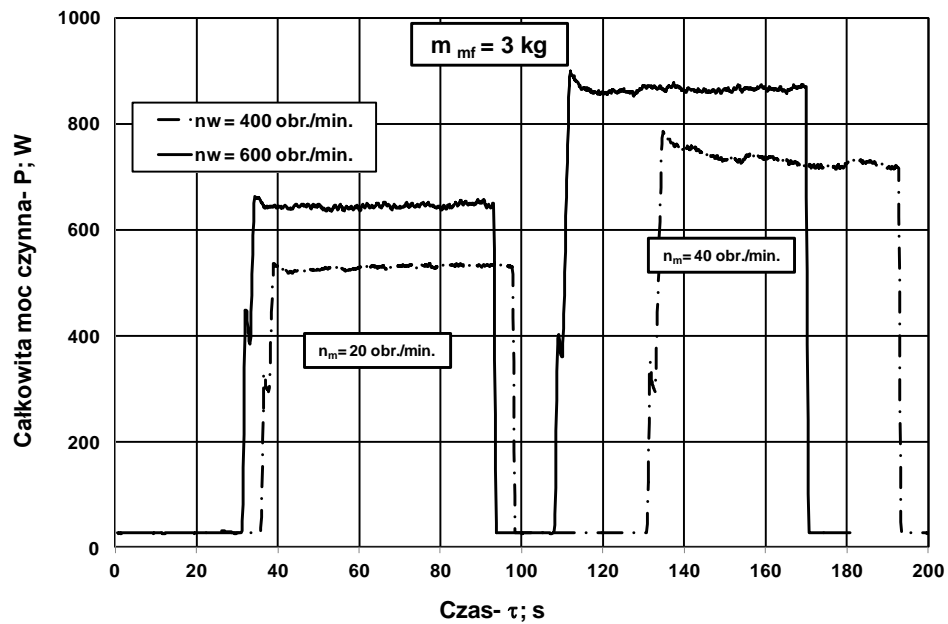
Zakres prowadzenia badań poboru mocy mieszarki, wynika z procesu pracy mieszarek, w którym wyróżnia się kolejne cykle: bieg jałowy przed napełnieniem miski, bieg pod obciążeniem i pomiędzy opróżnianiem, a kolejnymi napełnieniami. Na rysunku 2 i 3 przedstawiono charakter zmian poboru mocy przy zmiennych warunkach badań – wykorzystując jako linie trendu – średnią ruchomą. Z wykresów możliwe jest odczytanie wartości mocy pobieranej przez układ sterowania (rys. 2). Podczas serii badań występowały stany nieustalone w momentach rozruchu napędów, co sygnalizowane było zwiększonym poborem mocy.

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wyniki pomiarów i obliczeń przedstawiających przebiegi czasowe mocy czynnej podczas biegu jałowego oraz roboczego (w stanie ustalonym) dla dwóch typów mieszarek: przemysłowej krążnikowej oraz laboratoryjnej wirnikowej. Widoczne są większe odchylenia wartości mocy (w określonych momentach czasowych) od wartości średniej podczas cyklu roboczego (obrazują to wartości odchylenia standardowego - σ ; rys. 5). Wynika to ze złożonych oddziaływań elementów mieszających z zasobem masy formierskiej. Wartość odchylenia standardowego podczas biegu jałowego może być także ważnym wskaźnikiem oceny stanu zespołu napędowego podczas eksploatacji mieszarki. Relacje poboru mocy podczas biegu jałowego oraz roboczego zależą od typu oraz wielkości urządzenia. W małej mieszarce laboratoryjnej w której masa elementów ruchomych jest istotnie większa od masy zasobu różnice w poborze mocy są mniejsze (rys. 4) w porównaniu do analogicznych różnic w urządzeniu przemysłowym (rys. 5).

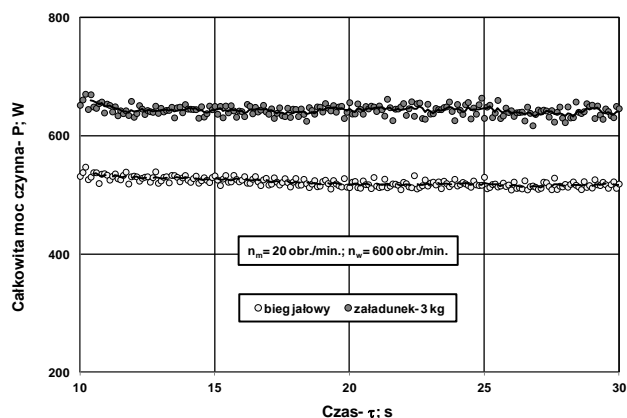
Na podstawie zarejestrowanych przebiegów czasowych poboru mocy można określić wartości średnie w poszczególnych okresach ustalonej pracy mieszarki, z uwzględnieniem zmiennych warunków pracy urządzenia [4,5,12]. Przykład wykresu tego typu przedstawia rysunek 6- ujmujący wyniki badań prototypowej mieszarki wirnikowej.



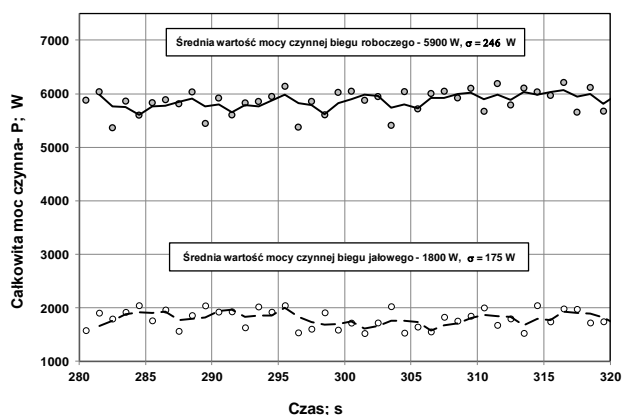
Rys. 2. Przebiegi wartości całkowitej mocy czynnej pobieranej przez wirnikową mierzarkę laboratoryjną - bieg jałowy



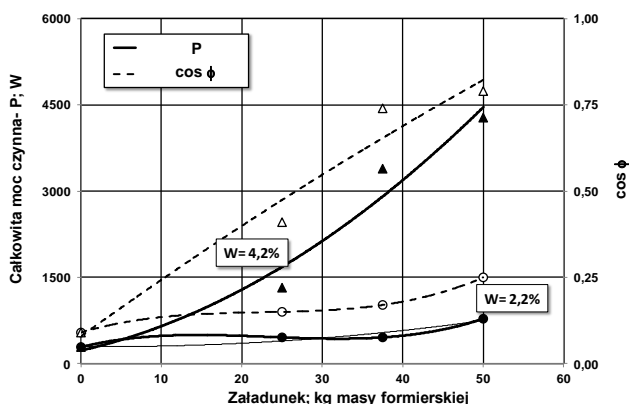
Rys. 3. Przebiegi wartości całkowitej mocy czynnej pobieranej przez mierzarkę wirnikową- bieg roboczy, załadunek misy: 3 kg masy formierskiej



Rys. 4. Przebiegi wartości całkowitej mocy czynnej pobieranej przez laboratoryjną miazarkę wirnikową podczas biegu jałowego oraz biegu roboczego (załadunek- 3 kg masy formierskiej)



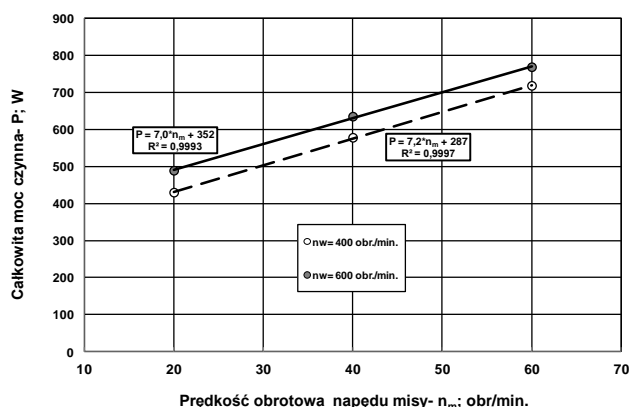
Rys. 5. Przebiegi wartości całkowitej mocy czynnej pobieranej przez przemysłową miazarkę krążnikową podczas biegu jałowego oraz biegu roboczego (załadunek- ok. 200 kg masy formierskiej)



Rys. 6. Zestawienie mocy czynnej pobieranej przez prototypową miazarkę wirnikową przy zmiennym jej załadunku oraz różnej wilgotności masy formierskiej w stanach ustalonych; oś pomocnicza – wartości współczynnika mocy

Na wykresie widoczny jest wpływ wzrostu załadunku miazarki na pobór mocy, a także istotne zróżnicowanie w poborze mocy spowodowane zmianą stanu masy spowodowanej nawilżeniem – wynikające ze specyficznych właściwości fizykochemicznych masy formierskiej [7]. Prototypowa miazarka wirnikowa powstała na bazie miazarki łopatkowej starszego typu wyraźna jest więc duża zmienność współczynnika mocy- $\cos \phi$ wraz z obciążeniem (rys. 6). Przedstawione wyniki potwierdzają znaczenie pomiarów poboru mocy w aspekcie oceny energochłonności danej miazarki w rzeczywistym cyklu jej pracy.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wirnikowej miazarki laboratoryjnej [10] można opracować charakterystyki zbiorcze wykorzystujące reprezentatywne wartości charakterystyczne dla stanów ustalonych (przy stabilizacji poboru mocy w danym okresie). Dla tych stanów podczas biegu jałowego opracowano wykresy zmian wartości poboru mocy czynnej w funkcji prędkości obrotowej napędu misy - rys. 7 oraz w funkcji prędkości obrotowej napędu wirnika - rys. 8.

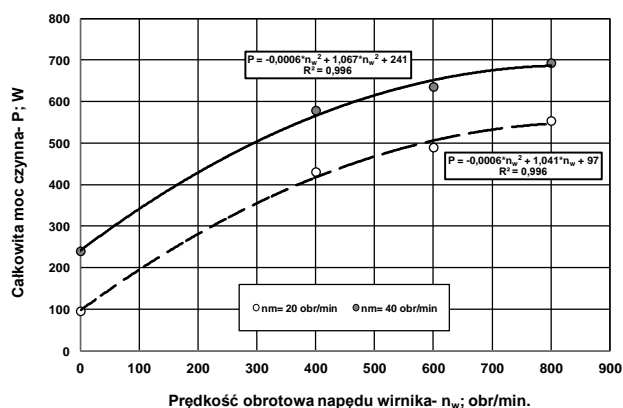


Rys. 7. Pobór mocy czynnej P pobieranej przez napędy miazarki w stanach pracy ustalonej w funkcji zmiennej prędkości obrotowej napędu misy n_m

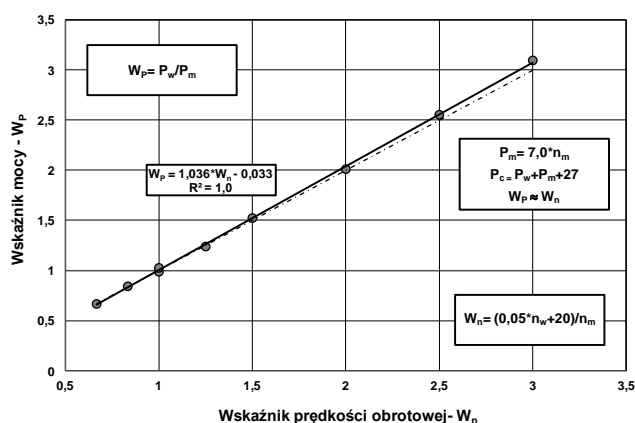
Na pierwszym wykresie (rys. 6) funkcje mają charakter liniowy (wartość odchylenia standardowego około 1%, wysoka wartość współczynnika determinacji R^2). Na wykresie przedstawionym na rysunku 6, charakter linii trendu uległ zmianie, ponieważ do zbioru punktów pomiarowych włączono wartości pobranej mocy przez napęd misy przy „zerowej” prędkości wirnika.

Należy podkreślić, że wybrane zależności wielomianowe mają charakter empiryczny obowiązujący w zakresie zmiany parametrów podczas badań. W warunkach przemysłowych nie zawsze jest możliwość przeprowadzenia badań niezależnie dla napędu wirnika i misy.

Odpowiednia metodyka pomiarów oraz sposób opracowania wyników [5, 10, 12] umożliwia określenie wartości poboru mocy przez poszczególne napędy miazarki. Dla praktycznej oceny działania miazarek i ich energochłonności celowe jest przedstawienie wyników badań w postaci zależności pomiędzy bezwymiarowymi wskaźnikami [10] - rys. 9.



Rys. 8. Pobór mocy czynnej P pobieranej przez napędy mieszarki w stanach pracy ustalonej w funkcji zmiennej prędkości obrotowej napędu wirnika n_w

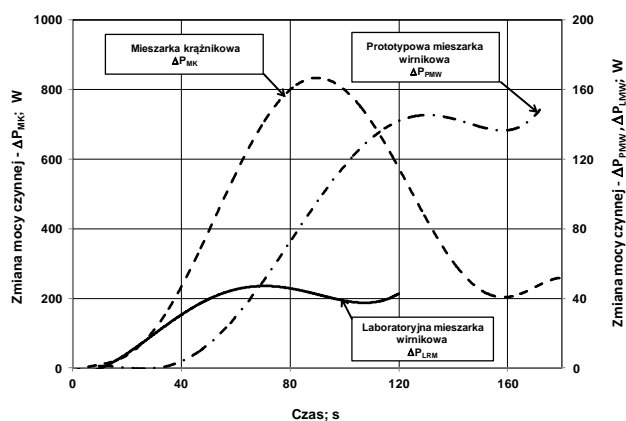


Rys. 9. Zależność wskaźnika poboru mocy napędów: wirnika i misy W_p od wskaźnika prędkości napędów W_n ; seria badań obejmująca bieg jałowy mieszarki (współrzędne bezwymiarowe)

Wskaźniki (współrzędne bezwymiarowe) zostały zdefiniowane jako: stosunek mocy napędu wirnika do mocy napędu misy $W_p = P_w / P_m$ oraz specjalnie dobrany wskaźnik prędkości obrotowej W_n (rys.9). Na rysunku 9 podano równania, które łącznie z wykresem mogą służyć do obliczenia mocy biegu jałowego mieszarki przy dowolnych, zmiennych nastawach prędkości obrotowej napędów. Zamiast równania linii trendu (linia ciągła), można stosować zależność przybliżoną $W_p = W_n$ (linia przerywana)- błąd obliczeń nie przekracza 3%.

Charakter przebiegu zmiany poboru mocy związany ze zmianą wilgotności masy jest zależny od typu mieszarki [4, 5, 10, 11]. Na rysunku 10 przedstawiono zestawienie linii trendu dla serii pomiarów przeprowadzonych dla trzech omawianych mieszarek [11]. Pomiar obejmował rejestrację zmian mocy związanej z procesem nawilżania masy. Różnice w charakterze przebiegów czasowych wynikają z odmiennej konstrukcji tych maszyn i różnego oddziaływania elementów mieszających na masę. Uwzględniając sposób dozowania wody, sygnał wejściowy- natężenie strumienia wody może być potraktowany jako impuls prostokątny o czasie trwania znacznie mniejszym od czasu

odpowiedzi- sygnał zmiany mocy czynnej, spowodowany nawilżeniem masy. W mieszarkach wirnikowych o „objętościowym” charakterze mieszania zasobu masy przebiegi odpowiedzi mają zbliżony charakter: zarówno dla małej mieszarki laboratoryjnej, jak i dla większej prototypowej mieszarki wirnikowej. W przypadku mieszarki krążnikowej czasowy przebieg mocy ma pewne maksimum, po którym następuje stabilizacja poboru mocy na pewnym poziomie (nieco wyższym od początkowego). Prawdopodobnie jest to związane z ustaleniem nowej grubości warstwy masy po której toczy się krążnik, a wpływ stosunkowo niewielkiej zmiany wilgotności masy na opory toczenia nie jest istotny. Podczas tych pomiarów charakterystyczne były stosunkowo duże oscylacje wartości mocy czynnej. Stosunkowo niewielki wzrost mocy w końcowym okresie, można łączyć z pracą układu zgarniającego.



Rys. 10. Zmiana mocy czynnej pobieranej przez mieszarki spowodowana dozowaniem wody do masy formierskiej w trakcie procesu mieszania

Podsumowanie

Przedstawione wyniki pomiarów oraz ich analiza wykazują, że pomiary poboru mocy przez mieszarki masy formierskiej są efektywnym sposobem monitoringu pracy tych urządzeń. Duża ilość mierzonych parametrów może być szeroko wykorzystana zarówno w ocenie przebiegu procesu technologicznego jak i ocenie energochłonności urządzeń. Dane producenta (np. podanie mocy nominalnej napędu) mogą być wykorzystane w tym przypadku jedynie do bardzo orientacyjnej oceny. W omawianych pomiarach istotne są parametry zastosowanej aparatury. W tym aspekcie stosowany w badaniach oryginalny system pomiarowy ma istotne zalety w porównaniu do wielu typowych przyrządów przeznaczonych do analizy jakości energii elektrycznej. W dalszej perspektywie będą realizowane rozszerzone badania dotyczące wpływu dozowania wody do masy podczas procesu jej sporządzania łączące ciągły, dynamiczny pomiar wilgotności masy formierskiej z pomiarami charakteryzującymi pobór mocy. W metodyce uwzględnione będą metody wspomagania komputerowego bazujące na algorytmach numerycznych do analizy zarejestrowanych sygnałów elektrycznych.

Podziękowania

Praca realizowana w ramach Pracy Statutowej AGH nr 11.11.170.318-6.

Literatura

- [1] Fedoryszyn, A., Rudy, C. (2007). Parameters and processes of synthetic sand rebonding in turbine mixers. *Archives of Metallurgy and Materials* **52**, 3, 415-419.
- [2] Lyons, R.G. (2004). *Understanding Digital Signal Processing – 2nd Edition*, Prentice Hall PTR.
- [3] Wrona, R., Ziółkowski, E., Ptak, W. (2006). An analysis of selected systems of continuous power consumption measurement in casting devices. *Archives of Foundry*, **4**, 18 (2/2), 521-526.
- [4] Wrona, R., Ziółkowski, E., Smyksy, K. (2008). Monitoring of power demand of foundry machinery, using the example of paddle mixers. *Archives of Foundry Engineering*, Vol. 8, No. 1, pp. 177-182.
- [5] Wrona, R., Ziółkowski, E., Smyksy, K. (2008). Relationship between power factors of mixer drive and selected technological parameters. *Archives of Foundry Engineering*, **8** spec. iss. 1 343-346.
- [6] Zieliński, T.P. (2007). *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Od teorii do zastosowań*. WKŁ, Warszawa.
- [7] Zych, J. (2007). Monitoring the thixotropic effect in water-clay slurry system used as a binder for moulding sands. *Archives of Metallurgy and Materials*, **52**, 3, 435-440.
- [8] <http://www.dozamet.pl>.
- [9] <http://www.technical.com.pl>.
- [10] Smyksy, K., Ziółkowski, E., Wrona, R. (2013). Performance evaluation of rotary mixers through monitoring of power energy parameters. *Archives of Metallurgy and Materials*, **58**, 3, 911-914.
- [11] Smyksy, K., Ziółkowski, E., Wrona, R. (2013). Comparative analysis of power measurement results in the testing of sand mixers. *Archives of Foundry Engineering*, 13, spec. iss. 3, 119-122.
- [12] Smyksy, K., Wrona, R., Ziółkowski, E. (2011). Application of a power quality analyser to the monitoring of sand preparation processes in foundry plants. *Archives of Foundry Engineering*, 11, spec. iss. 4, 141-144.
- [13] Fedoryszyn, A., Rudy, C., Smyksy, K. (2013). The rationalization of construction and operation of the equipment for the moulding sand preparation. *Archives of Metallurgy and Materials*, **58**, 3, 915-918.
- [14] Ziółkowski, E. (2010). Monitorowanie pracy układów zasilania elektrycznych urządzeń odlewniczych. *Archives of Foundry Engineering*, 11, spec. iss. 2, 169-172.

The Measurements of Power Consumption by Moulding Sand Mixers

Abstract

A method is outlined that can be adopted for measuring the power demand by moulding sand mixers using a dedicated computer system enabling the monitoring and recording of instantaneous voltage and current levels and of power taken up by foundry machines and installations and Power Quality Analyser KEW 6310, Kyoritsu Company. This system allows the operational parameters of electric-powered devices to be effectively monitored taking into account the energy efficiency level. Monitoring of the machine operation gives also possibility of assessment of the moulding sand preparation processes. The methodology of measurements and processing of measurement data is explained using the example of investigation of three different mixers: industrial roller mixer (Simpson type), the prototype rotary mixer and modern rotary mixer for laboratory applications. Tests have confirmed the adequacy and good performance of the microprocessor system used in measurements, allowing the energy efficiency parameters of the mixer drive to be determined accordingly. The fundamental aspects involved in power demand monitoring include: optimization and control of the mixing process, taking into account the moulding sand quality and mixer performance. It has to be emphasised that the measurement results can be also utilised in optimisation of the machine's constructional and operational features. Tests confirm that variations of moisture content in moulding sand can impact on selected power energy parameters in moulding sand mixing process.