

Prof. dr hab. inż. Jarosław DIAKUN
Mgr inż. Kamil DOLIK
Mgr inż. Mariusz SEŃCIO
Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego
Politechnika Koszalińska

ANALIZA SKŁADNIKÓW ENERGII NAPĘDU UKŁADÓW FUNKCJONALNYCH MASOWNICY MIESZADŁOWEJ®

W artykule przedstawiono wyniki badań zużycia energii elektrycznej w operacji masowania mięsa w masownicy mieszadłowej. Artykuł jest kontynuacją pracy nt. „Analiza składników mocy napędu masownicy do mięsa”, opublikowanej na łamach „Inżynierii Rolniczej”.

W badaniach wykonano pomiary mocy i energii pobieranych przez układy masownicy mieszadłowej o pojemności 150 litrów. Jest to masownica wyposażona w następujące układy funkcjonalne: napęd mieszadła, napęd pompy próżniowej, agregat chłodniczy, system przechyłu zbiornika oraz programowalny sterownik elektroniczny. Podczas badań rejestrowano moce tych układów. Pomiary przeprowadzono dla pracy masownicy bez załadunku i po załadowaniu zbiornika surowcem mięsnym. W badaniu zastosowano minimalny wymagany stopień załadunku. Dokonano porównania zużycia energii dla pracy masownicy bez załadunku i z załadunkiem.

Słowa kluczowe: masownica, energia, moc, pomiar, masowanie.

WPROWADZENIE

W celu nadania mięsu atrakcyjnych dla konsumenta właściwości, stosuje się różne metody jego obróbki (Kłoczko [9], Górską i Kozłowską [7], Kozłowską i Górską [10]). Jedną z nich jest masowanie, polegające na mieszaniu surowca mięsnego z jednoczesnym jego ugniataniem. Jego głównym celem jest ukształtowanie zgodnej z oczekiwaniami konsumentów konsystencji produktu (Diakun i in. [4]). Operację masowania wykorzystuje się m. in. w produkcji wędlin i kebabu. Poza kształtowaniem konsystencji, ma ona również na celu dokładne wymieszanie surowca z przyprawami i intensyfikację procesu wchłaniania przypraw przez surowiec. Masowanie mięsa stanowi przedmiot badań zarówno w Polsce, jak i za granicą. Najczęściej oceniany jest wpływ tej operacji na różne cechy mięsa, m. in. mechaniczne parametry tekstury i wodochłonność (Diakun i in. [1], Dolata i in. [5], Dzudie i Okubanjo [6], Pietrasik i Shand. [12], Tomkiewicz i in. [14]).

W zakładach przemysłu spożywczego operację masowania prowadzi się z wykorzystaniem masownic próżniowych. Masownice te dzieli się na dwie grupy: masownice bębnowe oraz masownice mieszadłowe. W masownicach bębnowych surowiec umieszczany jest w obrotowym bębnie, na wewnętrznych ściankach którego znajdują się intensyfikujące przebieg masowania półki. W masownicach mieszadłowych za masowanie surowca odpowiada ruchome mieszadło zainstalowane wewnątrz nieruchomego zbiornika. Masownice tego typu pozwalają na stosowanie mieszadeł różnego rodzaju, w zależności od potrzeb przetwórcy. Masownice wyposażone są w dodatkowe układy, których zadaniem jest intensyfikacja operacji. Wyróżnić można układy odpowiadające za utrzymanie odpowiednich warunków środowiska podczas masowania (pompa próżniowa, agregat

chłodniczy), napędy manipulacyjne (system przechyłu bębna, kontroli otwarcia/zamknięcia pokrywy) oraz specjalne (system coatingu, system wyładowniczy, system rozmrażania próżniowo-parowego) (Diakun i in. [3]).

Dobór typu i modelu masownicy uzależniony jest od potrzeb nabywcy. Podczas doboru maszyny musi on mieć na uwadze jej pojemność, dostęp do funkcji dodatkowych oraz łatwość użytkowania urządzenia. Coraz częściej również zwracana jest uwaga na oszczędność energii w trakcie produkcji. Ważny aspekt doboru maszyny stanowią zagadnienia związane ze zużyciem nośników energii w trakcie produkcji. Producentom zależy na tym, aby osiągnąć efekt końcowy przy możliwie niskich nakładach energii. Do projektowania maszyn i procedur przetwórczych zoptymalizowanych pod kątem oszczędności energii, konieczne jest posiadanie wiedzy z zakresu zagadnień związanych z zapotrzebowaniem na nośniki energii, technologią produkcji i organizacją produkcji (Neryng i in. [11], Wojdalski i in. [16]). Do pozyskania takiej wiedzy niezbędne jest prowadzenie badań wykorzystania energii w danym procesie (Janus [8], Wojdalski i Drózd [17]). Wyniki badań z powyższego zakresu mogą prowadzić do znacznej oszczędności energii podczas przyszłego użytkowania urządzeń i linii technologicznych.

W literaturze brak jest wyczerpujących opracowań dotyczących poboru energii w procesie masowania mięsa z wykorzystaniem masownic. Pewne informacje można znaleźć m. in. w publikacjach Wojdalskiego (Wojdalski i in. [15, 18]). W niniejszym artykule przedstawiono wyniki tego typu analiz przeprowadzonych na masownicy mieszadłowej MA150 polskiego producenta Inwestpol-Consulting Sp. z o.o. Praca stanowi kontynuację artykułu pt. „Analiza składników mocy napędu masownicy do mięsa”, opublikowanego w „Inżynierii Rolniczej” (Diakun i in. [1]).

Celem artykułu jest prezentacja wyników badań zużycia energii elektrycznej w operacji masowania mięsa w maskownicy mieszadłowej.

CEL I ZAKRES BADAŃ

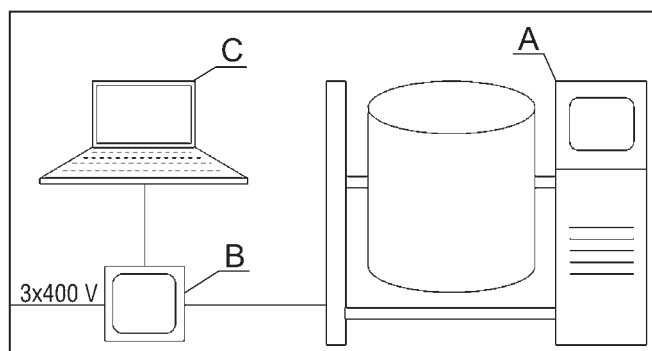
Celem przeprowadzonych badań była analiza energii składników zasilania układów funkcjonalnych masownicy próżniowej MA150 przy minimalnym zalecanym przez producenta wypełnieniu, stanowiącym 30 kg, co stanowi 30% maksymalnego wypełnienia surowcem. Wielkościami mierzonymi były moc czynna i energia użyteczna pobierana przez masownicę. Obie wielkości zmierzono dla pracy masownicy bez załadunku i po załadunku 30 kg mięsa drobiowego. Wyniki pomiaru mocy zestawiono w postaci wykresu zależności zmian mocy od czasu masowania, na podstawie których następnie obliczono pobór energii przez poszczególne układy funkcjonalne masownicy.

MATERIAŁY I METODY

W skład stanowiska pomiarowego wchodziła następująca aparatura:

- masownica mieszadłowa typ MA150, udostępniona przez firmę Inwestpol-Consulting Sp. z o.o.,
- wielofunkcyjny miernik parametrów sieci elektrycznych PM 390,
- komputer PC.

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rysunku 1. Masownica mieszadłowa MA 150 wyposażona jest w następujące układy funkcjonalne: napęd mieszadła, pompa próżniowa, agregat chłodniczy i system przechyłu zbiornika. Maszyna sterowana jest poprzez programowalny sterownik elektroniczny połączony z systemem czujników. Główny układ funkcjonalny, oddziałujący bezpośrednio na obrabiany surowiec, to napęd mieszadła. Mieszadło podczas obrotu powoduje przemieszczanie się masy surowca, jego mieszanie i ugniatanie. Intensywność tego oddziaływania jest uzależniona od rodzaju i ilości zainstalowanych mieszadeł oraz prędkości ich obrotu i kąta pochylenia bębna.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego. A – masownica MA150, B – miernik PM 390, C – komputer PC.

Fig. 1. Schematic diagram of the test stand. A – MA150 tumbler, B – PM390 measure, C – personal computer.

Źródło: Opracowanie własne

Masowanie w masownicy MA150 może odbywać się w ściśle określonych warunkach środowiska panującego w zbiorniku. Wytworzenie i zachowanie tych warunków jest

możliwe dzięki pompie próżniowej i agregatowi chłodniczemu. Pompa próżniowa pozwala wytworzyć w zbiorniku żądany poziom próżni (regulowany w zakresie od 0 do 99%). Natomiast agregat chłodniczy pozwala wychłodzić wnętrze zbiornika, co m. in. przeciwdziała przegrzewaniu się obrabianego wsadu podczas obróbki.

Napęd mieszadła podczas masowania pracuje w sposób ciągły, natomiast pompa próżniowa i agregat chłodniczy – w sposób cykliczny. Cykliczność pracy pompy wynika ze zmian ciśnienia wywołanych nieszczelnościami, a agregatu chłodniczego z przewodnictwa cieplnego ścianek i konieczności utrzymania temperatury wewnątrz zbiornika.

Parametry techniczne masownicy mieszadłowej MA 150 zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry techniczne masownicy mieszadłowej MA150

Table 1. MA150 tumbler technical parameters

Wielkość	Jednostka	Wartość
Pojemność zbiornika	dm ³	150
Minimalna wielkość wsadu	kg	30
Maksymalna wielkość wsadu	kg	100
Moc napędu mieszadła	kW	1,1
Moc pompy próżniowej	kW	0,75
Moc agregatu chłodniczego	kW	1,5
Moc całkowita zainstalowana	kW	4,5
Regulacja obrotów mieszadła	obr./min	0 25
Regulacja temperatury	°C	-20 40
Regulacja próżni	%	0 99
Regulacja kąta pochylenia	°	0 90

Źródło: Według DTR masownicy MA150, Inwestpol-Consulting Sp. z o.o.

W badaniu wykorzystano standardowy program masowania stosowany do produkcji kebabu drobiowego. Wartości parametrów masowania zestawiono w tabeli 2. W badaniu z wsadem wykorzystano 30 kg mięsa z ud kurczaków oraz mieszankę przypraw funkcjonalnych w postaci marynaty.

Tabela 2. Wartości parametrów programu masowania

Table 2. Tumbling program parameters

Wielkość	Jednostka	Wartość
Czas	h	1,5
Rodzaj zastosowanego mieszadła	-	Ramię masujące (unosząco-zgarniające)
Prędkość mieszadła	obr./min	12
Temperatura	°C	0
Stopień próżni	%	90
Kąt pochylenia	°	45
Wielkość wsadu	kg	30
Stopień wypełnienia	-	30/100

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 3. Zestawienie wyników obliczeń energii

Table 3. The energy calculation results

Układ funkcjonalny	Energia bez obciążenia			Energia z obciążeniem			Energia efektywna E_e [kWh]	Δ_e
	Pojedynczy cykl pracy [kWh]		E_b Masowanie 1,5 h [kWh]	Pojedynczy cykl pracy [kWh]		E_0 Masowanie 1,5 h [kWh]		
	Od	Do		Od	Do			
Mieszadło	praca ciągła		0,33	praca ciągła		0,37	0,04	0,12
Pompa próżniowa (wysysanie powietrza ze zbiornika)	0,0033	0,0063	0,18	0,0042	0,0091	0,23	0,05	0,28
Napęd przechyłu zbiornika	0,0026	0,0029	0,022	0,0024	0,0028	0,024	0,002	0,09
Agregat chłodniczy	0,0211	0,0235	0,23	0,0245	0,0323	0,28	0,05	0,22
Sterowanie	praca ciągła		0,036	praca ciągła		0,036	0	-

Legenda: – energia efektywna (energia użyteczna do realizacji procesu masowania):

$$E_e = E_0 - E_b$$

$$- \text{względny przyrost energii: } \Delta_e = \frac{E_e}{E_b}$$

Źródło: Obliczenia własne

Tabela 4. Zestawienie wartości całkowitej energii pobranej podczas 1,5 godzinowego programu masowania

Table 4. The tumbling energy during the 1,5 h tumbling process

	Bez obciążenia E_b [kWh]	Z obciążeniem E_0 [kWh]	Różnica E_b [kWh]	Sprawność energetyczna procesu η
Energia obliczona	0,80	0,94	0,14	0,15
Energia zmierzona	0,81	0,93	0,13	0,14

Legenda: – sprawność energetyczna: $\eta = \frac{E_e}{E_0}$

Źródło: Obliczenia własne

Do pomiaru wartości mocy i energii wykorzystano wielofunkcyjny miernik parametrów sieci elektrycznych PM390, który zapewnia dokładność odczytu na poziomie 0,1% dla pomiarów prądu i napięcia oraz klasę 0,5 według EN 61036 dla pomiarów energii czynnej w kWh. Miernik został włączony w obwód zasilania masownicy. Wartość mocy była re-

jestrowana podczas pracy masownicy.

WYNIKI I Dyskusja

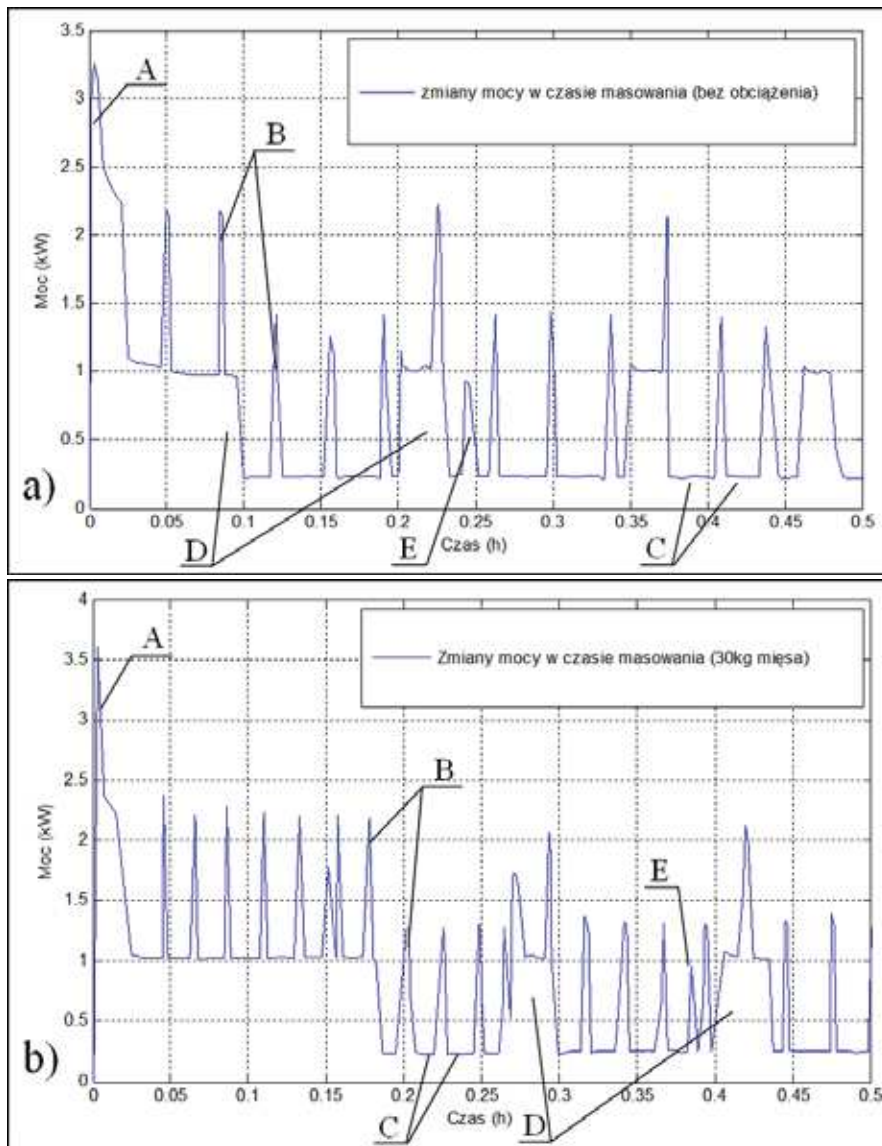
Jako rezultat pomiarów uzyskano rejestratę zmiany mocy zasilania masownicy w trakcie pracy (rys. 2a i 2b). Na rejestratach zidentyfikowano okresy pracy poszczególnych składników funkcjonalnych masownicy MA150 – pompy próżniowej (pola B), napędu mieszadła (pola C), agregatu chłodniczego (pola D) i systemu przechyłu zbiornika (E). Na ich podstawie, obliczono wartości energii pobieranej przez każdy ze składników funkcjonalnych w pojedynczym cyklu pracy i podczas 90-minutowego procesu masowania (tab. 3). Obliczenia dokonano poprzez sumowanie jednostkowych pól powierzchni pod krzywymi mocy. Po obliczeniu wartości energii dla poszczególnych układów funkcjonalnych sumowano je, obliczając całkowitą wartość energii pobraną podczas masowania. Wartość tą porównano z wartością pozyskaną z pomiaru bezpośredniego energii za pomocą miernika PM390 (tab. 4).

Zestawienie wskazuje na niewielką różnicę wartości pomierzonej bezpośrednio i uzyskanej metodą planimetrowania pól pod wykresem mocy. Świadczy to o poprawności zastosowanej metody wyznaczania składników energii poszczególnych napędów.

Z przeprowadzonych pomiarów i obliczeń wynika, że energia pobierana przez poszczególne układy funkcjonalne masownicy była wyższa w przypadku pracy ze zbiornikiem wypełnionym surowcem mięsnym. Przyrost energii dla każdego z układów funkcjonalnych masownicy posiadał inną wartość.

Energia pobierana przez napęd mieszadła wzrosła o 12% w stosunku do energii pobieranej w trakcie przebiegu bez obciążenia. Oznacza to, że przy tym stopniu wypełnienia większość energii to opory własne napędu mieszadła. Wypełnienie masą surowca miało również niewielki wpływ na przyrost zużycia energii układu przechyłu zbiornika, który wyniósł 9%.

Wyższy niż oczekiwano przyrost energii pobieranej miał miejsce w przypadku pompy próżniowej. Spodziewano się, pierwotnie, że na energię utrzymania próżni nie powinien oddziaływać wsad mięsny. Energia pobierana przez pompę podczas pracy z załadunkiem wzrosła o 28%. Okazało się, że próżnia powoduje odparowywanie zawartej w masowanej masie wody, która jest ewakuowana przez układ podtrzymania próżni i powoduje wzrost poboru energii. Podczas pra-



Rys. 2. Przykładowe rejestraty zmian mocy zasilania masownicy MA150 w czasie pracy masownicy: a - bez załadunku, b - z załadunkiem. Oznaczenia poszczególnych wartości mocy: A - rozpoczęcie masowania, B - pompa próżniowa podczas ewakuacji powietrza ze zbiornika, C - napęd mieszadła, D - agregat chłodniczy, E - napęd przechyłu zbiornika.

Fig. 2. Example diagrams of changes of the MA150 tumbler power in time: a - test with the empty tumbler container, b - test with 30 kg of chickens meat. Marks: A - at the start of process, B - vacuum pump power level, C - agitator engine power level, D - cooling system power level, E - container position changing system.

Źródło: Opracowanie własne

cy z załadowanym zbiornikiem wzrosła również energia pobierana przez agregat chłodniczy (o 22%). Przyrost ten można uznać za normalny i wynikał on z potrzeby wychłodzenia i utrzymania temperatury wsadu.

Ilość energii pobieranej na podtrzymanie funkcjonowania układu sterowniczego w przypadku przebiegu jałowego i przebiegu z załadunkiem utrzymywała się na takim samym poziomie.

Ilość energii pobierana przez poszczególne układy funkcjonalne podczas masowania przy zastosowaniu minimalnego załadunku zbiornika (30%) wzrosła mniej niż stopień załadunku. Wynika stąd, że przy zastosowaniu minimalnego załadunku znaczna część energii pobieranej przez maszynę przeznaczana jest na pokrycie strat w poszczególnych napędach układów funkcjonalnych. Przy załadunku stanowiącym 30% wypełnienia maszyna pracuje ze stosunkowo niską sprawnością energetyczną wynoszącą 14-15%.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania wykazały, że istnieje wpływ wypełnienia zbiornika masownicy produktem na energię pobieraną przez poszczególne układy funkcjonalne masownicy oraz całkowitą energię pobieraną podczas masowania.

Zalecane przez producenta minimalne wypełnienie zbiornika (30%) tylko w nieznacznym stopniu zwiększyło energię pobieraną przez układ napędu mieszadła. Ponadto przy tym wypełnieniu sprawność energetyczną procesu, można uznać za niską. Oznacza to, że prowadzenie operacji masowania z minimalnym załadunkiem zbiornika jest nieefektywne ekonomicznie.

W celu lepszego poznania wpływu wielkości załadunku zbiornika na energię pobieraną na masowanie, należałoby przeprowadzić badania z maksymalnym stopniem wypełnienia.

LITERATURA

- [1] **DIAKUN J., DOLIK K., SEŃCIO M. 2012.** *Analiza składników mocy napędu masownicy do mięsa.* Inżynieria Rolnicza, 3, 138, 15-21.
- [2] **DIAKUN J., DOLIK K., SEŃCIO M., TOMKIEWICZ D. 2012.** *Ocena tekstury mięsa z wykorzystaniem środowiska Matlab.* Pomiar, Automatyka, Kontrola (PAK), 5, 480-483.
- [3] **DIAKUN J., SEŃCIO M. 2008.** *Przegląd konstrukcyjno-funkcyjny masownic do mięsa. Część I: Masownice bębnowe i mieszadłowe.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 1, 55-62.
- [4] **DIAKUN J., SEŃCIO M. 2009.** *Przegląd konstrukcyjno-funkcyjny masownic do mięsa. Część III: Wyposażenie i funkcje dodatkowe maskownic.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 2, 124-130.

- [5] **DOLATA W., PIOTROWSKA E., WAJDZIK J., TRITT-GOC J. 2004.** *The use of the MRI technique in the evaluation of water distribution in tum bled porcine muscle.* Meat Science, 1, 67, 25-31.
- [6] **DZUDIE T., OKUBANJO A. 1999.** *Effects of rigor state and tumbling time on quality of goat hams.* Journal of Food Engineering, 2, 42, 103-107.
- [7] **GÓRSKA A., KOZŁOWSKA M. 2006.** *Możliwości zastosowania ultradźwięków w przetwórstwie mięsa. Część I. Wpływ ultradźwięków na kruchość mięsa, strukturę tkanki łącznej i mięśniowej.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 2, 46-48.
- [8] **JANUS P. 2002.** *Metoda pomiaru energii użytecznej w procesie technologicznym przetwórstwa żywności oparta na stratach poszczególnych silnika elektrycznego i maszyny roboczej.* Technologia Alimentaria, 1, 103-111.
- [9] **KŁOCZKO I. 2006.** *Wpływ wysokich ciśnień (UHP) na niektóre właściwości i stan higieny mięsa wieprzowego.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 1, 25-30.
- [10] **KOZŁOWSKA M., GÓRSKA A. 2007.** *Możliwości zastosowania ultradźwięków w przetwórstwie mięsa. Część II. Wpływ ultradźwięków na proteolizę i ultrastrukturę mięśni, proces gotowania mięsa i inaktywację mikroflory.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 1, 56-59.
- [11] **NERYNG A., WOJDALSKI J., BUDNY J., KRASOWSKI E. 1990.** *Energia i woda w przemyśle rolno-spożywczym.* WNT Warszawa, ISBN: 978-83-20410-75-4.
- [12] **PIETRASIK Z., SHAND P. 2004.** *Effect of blade tenderization and tumbling time on the processing characteristics and tenderness of injected cooked roast beef.* Meat Science, 4, 66, 871-879.
- [13] **SEŃCIO M., DIAKUN J. 2009.** *Analiza parametryczna konstrukcji masownic do mięsa.* Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 1, 62-63.
- [14] **TOMKIEWICZ D., SEŃCIO M., DOLIK K. 2012.** *Układ pomiarowy do określenia parametrów tekstury mięsa na podstawie pomiaru zmiany prędkości wycieku wody.* Pomiar, Automatyka, Kontrola, 10, 901-904.
- [15] **WOJDALSKI J. (RED.) 2010.** *Użytkowanie maszyn i aparatury w przetwórstwie rolno-spożywczym. Wybrane zagadnienia.* Wydawnictwo SGGW, Warszawa, ISBN 978-83-7583-166-5.
- [16] **WOJDALSKI J., DOMAGAŁA A., KALETA A., JANUS P. 1998.** *Energia i jej użytkowanie w przemyśle rolno-spożywczym.* Wydawnictwo SGGW, Warszawa, ISBN 83-00-03156-1.
- [17] **WOJDALSKI J., DRÓŹDŹ B. 2012.** *Efektywność energetyczna zakładów przemysłu spożywczego. Zarys problematyki i podstawowe definicje.* Inżynieria Przemysłu Spożywczego, 3/4, 3, 37-49.
- [18] **WOJDALSKI J., DRÓŹDŹ B., GROCHOWICZ J., MAGRYŚ A., EKIELSKI A. 2012.** *Assessment of Energy Consumption in a Meat – Processing Plant – a Case Study.* Food and Bioprocess Technology, 6, 10, 2621-2629.
- [19] **STRONA PRODUCENTA MASOWNICY** www.inwestpol-consulting.pl, DTR masownicy MA150, Inwestpol-Consulting Sp. z o.o.

ANALYSIS OF THE MEAT TUMBLER DRIVE ENERGY COMPONENTS

SUMMARY

In this experiment an energy of the tumbler systems during the work was measured. To the research an agitator tumbler with the 150l container was used. An energy of the tumbler system was measured during the work without container load and during the work with the minimal required load level. An energy was also calculated from the tumbler power diagrams. The target of experiment was an energetic analysis of the meat tumbler work. Finally, measured values during the work without load and with load was compared.

Key words: tumbler; energy; power; measure; tumbling process.