

Dr hab. inż. Janusz WOJDALSKI¹ – prof. nadzw. SGGW
Dr inż. Bogdan DRÓŹDŹ
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji,
Wydział Inżynierii Produkcji, SGGW w Warszawie

EKOEFEKTYWNOŚĆ PRZEMYSŁU MLECZARSKIEGO®

W artykule przedstawiono syntezę dostępnych danych związanych z efektywnością i wdrażaniem zasad czystszej produkcji w przemyśle mleczarskim. Przedstawiony materiał może być przydatny do określania zapotrzebowania nośników energii i wody oraz standardów środowiskowych w zakładach tej branży.

Słowa kluczowe: produkcja mleczarska, efektywność, energia, woda, czystsza produkcja.

WPROWADZENIE

Czystsza produkcja jest strategią dążenia do zrównoważonego rozwoju [6]. Obejmuje ona następujące kierunki działań:

- zapobiegawcze – tj. „działanie u źródła” (przed rozpoczęciem procesu produkcyjnego występuje ocena potrzeby wytwarzania produktu i jego funkcji, projektowania oraz technologii i realizacji procesu technologicznego);
- ciągłe – nie będące jednorazowym zdarzeniem (akcją) i wymagające powtarzania dla usuwania usterek i poprawy;
- zintegrowane czyli obejmujące poszczególne elementy środowiska naturalnego;
- skierowane zarówno do procesów i operacji jednostkowych jak i wytwarzanych produktów.

Dla oceny podjętych działań produkcyjnych stosuje się mierniki efektywności. Efektywność jest to osiąganie wysokich standardów środowiskowych wyrażających niski lub zmniejszający się wpływ działalności zakładu produkcyjnego na środowisko. Wysoka efektywność jest osiągana m. in. dzięki zmniejszeniu zużycia zasobów naturalnych (głównie paliw), emisji substancji zanieczyszczających środowisko oraz wytwarzanych odpadów. Korzyści efektywnego zakładu to np. zmniejszanie wydatków ponoszonych na zakup nośników energii i wywóz odpadów (zwiększenie dochodowości firmy), wzrost konkurencyjności oraz poprawa wizerunku przedsiębiorstwa. Efektywność może być mierzona za pomocą wskaźników efektywności, którymi mogą być przykładowo: masa odprowadzanych odpadów na jednostkę przerabianego mleka, łączne zużycie energii na jednostkę przerobionego mleka, stosunek emisji dwutlenku węgla do przychodów ze sprzedaży produktów mleczarskich.

Istniejące dokumenty [1, 10, 22] są skierowane do organów administracji publicznej zajmujących się wydawaniem pozwoleń zintegrowanych oraz do zakładów mleczarskich posiadających instalacje objęte obowiązkiem uzyskania takiego pozwolenia. Przytoczone materiały źródłowe nie wyczerpują obszernej problematyki efektywności, a w niektórych miejscach zawierają istotne luki, gdyż zakłady mleczarskie różnią się między sobą pod względem struktury przerobu surowca. Należy zaznaczyć, że omawianą problematyką

zajmuje się wiele ośrodków naukowo-badawczych na świecie publikujących materiały o różnej szczegółowości. W jednym z przykładowych opracowań [13] przytoczono materiały porównawcze związane z gospodarką wodno-ściekową uwzględniającą zróżnicowaną strukturę produkcji. Do tej problematyki nawiązuje również inne opracowanie [9], którego autorzy przedstawiają możliwości neutralizacji osadów ściekowych, co istotnie wpływa na poprawę efektywności zakładów mleczarskich.

Zagadnienia energochłonności produkcji mleczarskiej są poruszane w wielu publikacjach krajowych i zagranicznych [2, 7, 11, 12], dostarczając wyników analiz ekonomicznych przydatnych w praktyce przemysłowej.

Przyjmując podstawy metodyczne zawarte w pracach [16, 17, 20, 21] wyodrębniono zbiór wskaźników mogących mieć zastosowanie do oceny efektywności zakładów przemysłu mleczarskiego. Zakres oceny może być zwiększany w zależności od ilości wyników zebranych w warunkach funkcjonowania zakładów.

Celem niniejszego opracowania jest synteza dostępnych danych literaturowych dotyczących szeroko ujętej efektywności z uwzględnieniem wyników zawartych w pracach autorów, jak również znajdujących się w materiałach Międzynarodowych Konferencji pt. „Problemy gospodarki energią i środowiskiem w przemyśle mleczarskim” oraz innych źródłach. Zamierzeniem autorów jest przedstawienie wartości liczbowych, które mogą posłużyć zakładom mleczarskim do porównań lub weryfikacji danych uzyskiwanych w praktyce produkcyjnej.

ANALIZA WYNIKÓW

W tabeli 1 zestawiono 18 wskaźników mogących mieć zastosowanie w ocenie efektywności produkcji mleczarskiej, obejmujących cały zakład produkcyjny. Przytoczone wartości liczbowe dotyczą zróżnicowanej liczby badanych zakładów produkcyjnych. Najbardziej przydatne do oceny efektywności są dane pochodzące z dużej liczby zakładów uwzględnione przykładowo w pracach [4, 14, 15, 21]. Wskaźnikiem o największym znaczeniu jest energochłonność przetwórstwa mleka. W grupie opracowań polskich autorów najwięcej szczegółów dotyczących wpływu różnych czynników technicznych, technologicznych i organizacyjno-produkcyjnych na zużycie energii i wody dostarczają prace [4, 14, 15].

Jedno ze specjalistycznych opracowań [21] wymienia jednostkowe zużycie energii uśrednione dla całej branży mleczarskiej, podając duży zakres zmienności. Z kolei w pracy [4]

¹ Stowarzyszenie Naukowo-Techniczne „Energia i środowisko w mleczarstwie” w Olsztynie

i materiałach źródłowych są wymienione cztery grupy zakładów mleczarskich różniących się strukturą przerobu mleka z uwzględnieniem pory roku. Największą jednostkową energochłonnością charakteryzują się zakłady z proszkownią mleka. Stosując procedurę regresji krokowej wyjaśniono zmienność wskaźnika jednostkowego zużycia energii elektrycznej w poszczególnych typach zakładów w zakresie od 84 do 97%.

W warunkach polskich jednostkowe zużycie energii cieplnej w zakładach mleczarskich z proszkownią mleka jest około 2-krotnie wyższe w porównaniu z zakładami posiadającymi wyłącznie „dział miejski” (produkcja mleka spożywczego, napojów i twarogów). Zmienność tego wskaźnika w największym stopniu była wyjaśniona w zakładach bez „działu miejskiego” i wynosiła 91,4%. Interesujących wyników badań w tym zakresie dostarcza praca [1] dowodząc celowości wprowadzania regeneracji ciepła i wykorzystywania wody gorącej jako nośnika energii, co może sprzyjać ok. 2-3-krotnemu zmniejszeniu jednostkowego zużycia ciepła dzięki wyeliminowaniu jednego etapu przemian energii w zakładzie produkcyjnym. Opis matematyczny tych przemian zawarto w publikacji [17].

Najwięcej informacji dotyczących poziomu energochłonności wnoszą wskaźniki łącznego zużycia energii i jednostkowego zużycia paliwa umownego. Zawarte są one w publikacjach [4, 17, 19]. Prezentują zużycie energii w zakładzie produkcyjnym jak również sprawność przemian i przesyłania energii elektrycznej. Zużycie paliwa umownego jest uniwersalną miarą energochłonności produkcji do porównania zakładów stosujących różne rodzaje paliw.

Druga grupa wskaźników jest związana z gospodarką wodno-ściekową zakładów mleczarskich. Wskaźniki jed-

nostkowego zużycia wody także wykazują zróżnicowanie w zależności od typu zakładu. Największe wskaźniki zużycia wody występują w zakładach z proszkownią mleka, w których stopień wyjaśnienia i zmienności osiągnął 77%. Szczegółowe wyniki badań w tym zakresie zawierają prace [14, 15]. Użytkowanie wody jest każdorazowo uwzględniane przy analizie warunków wdrażania czystszej produkcji, co podkreślają prace [3, 8, 10].

BZT₅ jest rutynowym oznaczeniem niezbędnym do określania ładunku zanieczyszczeń w ściekach. Dane liczbowe na ten temat są publikowane wielokrotnie np. w pracach [1, 3, 9, 13]. Autorzy publikacji [5] przedstawili oryginalne wyniki badań nad energochłonnością oczyszczania ścieków mleczarskich. Wykazali, że w badanej oczyszczalni ok. 80% energii było zużywane na jej utrzymanie w ruchu, niezależnie od występującego strumienia ścieków.

Ponadto wykazali, że 2-krotnemu zwiększeniu ładunku zanieczyszczeń w ściekach odpowiadało ok. 1,6 – krotne zmniejszenie wskaźnika zużycia energii wyrażonego w kWh/kg BZT₅ i około 1,4 – krotne zmniejszenie wskaźnika wyrażonego w kWh/m³ ścieków. W badanej oczyszczalni udział energii elektrycznej na oczyszczanie ścieków w bilansie tej energii zużywanej w całym zakładzie zawierał się w granicach od 13,6 do 17,3%. Analiza takich czynników, jak: ChZT, zawiesina w ściekach, emisja gazów i pyłów powstających przy spalaniu paliw oraz odprowadzanie odpadów są zawarte zwłaszcza w pracy [21]. Z badań autorów [18] zaczerpnięto przykładowe wyniki emisji zanieczyszczeń stałych i gazowych do atmosfery, które można uznać za weryfikację danych literaturowych.

Tabela 1. Zestawienie wybranych wskaźników i czynników stosowanych do oceny efektywności zakładów przemysłu mleczarskiego

Analizowane wskaźniki i czynniki stosowane do oceny	Wymiar	Średnia wartość liczbowa	Zakres		Źródło
			Wartości minimalne	Wartości maksymalne	
Jednostkowe zużycie energii elektrycznej	kWh/m ³ mleka surowego	90	10	680	[21]
	kWh/m ³ mleka (z proszkownią mleka)	41,7 i 50,7*	-	-	[4]
	kWh/m ³ mleka (bez proszkowni mleka)	39,5 i 39,9*	-	-	
	kWh/m ³ mleka (bez działu miejskiego)	37,9 i 42,8*	-	-	
	kWh/m ³ mleka (wyłącznie z działem miejskim)	32,1 i 30,7*	-	-	
Jednostkowe zużycie energii cieplnej	GJ/m ³ mleka surowego	2,01	0,12	14	[21]
	GJ/m ³ przerabianego mleka (z proszkownią mleka)	2,86	-	-	[4]
	GJ/m ³ przerabianego mleka (bez proszkowni mleka)	1,91	-	-	
	GJ/m ³ przerabianego mleka (bez działu miejskiego)	2,23	-	-	
	GJ/m ³ przerabianego mleka (wyłącznie z działem miejskim)	1,42	-	-	
	GJ/Mg przerabianego mleka (nowoczesne zakłady z regeneracją ciepła)	0,34	-	-	[1]
	GJ/Mg przerabianego mleka (nowoczesne zakłady wykorzystujące gorącą wodę jako nośnik energii)	0,50	-	-	

	GJ/Mg przerabianego mleka (starsze zakłady wykorzystujące parę wodną jako nośnik energii)	2,00	-	-	
Jednostkowe zużycie węgla	Mg/m ³ mleka surowego	0,13	0,02	1,21	[21]
Łączne jednostkowe zużycie energii	GJ/1000 l przerobionego mleka	3,04**	1,93**	4,19**	[18]
	GJ/1000 l przerobionego mleka	2,46***	1,40***	3,55***	
Jednostkowe zużycie paliwa umownego (p.u.)	kg p.u./1000 l przerobionego mleka	104**	66**	143**	[18]
	kg p.u./1000 l przerobionego mleka	84***	48***	121***	
Jednostkowe zużycie wody	m ³ /m ³ przerabianego mleka (z proszkownią mleka)	6,53	-	-	[15]
	m ³ /m ³ przerabianego mleka (bez proszkowni mleka)	5,99	-	-	
	m ³ /m ³ przerabianego mleka (bez działu miejskiego)	5,04	-	-	
	m ³ /m ³ przerabianego mleka (wyłącznie z działem miejskim)	5,12	-	-	
	l/kg produktu	-	2,21	9,44	[1]
BZT ₅	kg/m ³ mleka surowego	1,25	0,01	6,76	[21]
	mgO ₂ /dm ³ ścieków (przed oczyszczeniem)	836	100	2406	
	mgO ₂ /dm ³ ścieków (po oczyszczeniu)	251	6	1150	
Energochłonność oczyszczania ścieków	kWh/kg BZT ₅	-	0,89	3,22	[5]
	kWh/m ³ ścieków	-	1,94	6,32	
ChZT	kg/m ³ mleka surowego	2,19	0,1	13,3	[21]
	mgO ₂ /dm ³ (przed oczyszczeniem)	1338	38	3560	
	mgO ₂ /dm ³ (po oczyszczeniu)	406	24	1850	
Zawartość zawiesin	kg/m ³ mleka surowego	0,82	0,02	6,21	[21]
	mg/dm ³ (przed oczyszczeniem)	300	72	802	
	mg/dm ³ (po oczyszczeniu)	113	14,6	541	
Emisja SO ₂	kg/m ³ mleka surowego	1,65	0,05	22,4	[21]
	kg/Mg węgla	11,3	3,94	25,2	
	kg/1000 l. przerabianego mleka	0,83	-	-	
Emisja NO _x	kg/m ³ mleka surowego	0,49	0,03	6,4	[21]
	kg/Mg węgla	2,65	0,52	8,98	
	kg/1000 l. przerabianego mleka	0,60	-	-	
Emisja CO	kg/m ³ mleka surowego	1,97	0,01	9,23	[21]
	kg/Mg węgla	22,1	0,67	76,6	
	kg/1000 l. przerabianego mleka	1,25	-	-	
Emisja pyłów	kg/m ³ mleka surowego	1,3	0,01	14,4	[21]
	kg/Mg węgla	10,9	1,2	199	
	kg/1000 l. przerabianego mleka	1,15	-	-	
Osady ściekowe	kg/m ³ mleka surowego	5,8	0,03	38,7	[21]
Popioły węglowe	kg/m ³ mleka surowego	19	0,01	193	[21]
	kg/1000 l. przerabianego mleka	0,04	-	-	[18]
Odpady organiczne	kg/m ³ mleka surowego	256	0,51	734	[21]
	kg/1000 l. przerabianego mleka	0,91	-	-	[18]
Odpady opakowaniowe	kg/m ³ mleka surowego	0,48	0,02	1,2	[21]

* – w zależności od pory roku (odpowiednio – lato – zima);

** – uwzględniają zużycie energii cieplnej i energii elektrycznej przeliczone na energię pierwotną przyjmując 1 kWh = 3,6 MJ/0,3 (współczynnik 0,3 oznacza sprawność przemian energii i jej transportu);

*** – uwzględniają zużycie energii cieplnej i energii elektrycznej przeliczone na energię pierwotną przyjmując 1 kWh = 3,6 MJ.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wskaźniki i czynniki stosowane do oceny efektywności mogą mieć znaczenie w praktyce inżynierskiej i bieżącej eksploatacji zakładów mleczarskich. Są one ściśle związane z wdrażaniem zasad czystszej produkcji. Praca nie wyczerpuje obszernego zagadnienia związanego z od-

działaniem zakładów branży mleczarskiej na środowisko oraz audytami ekologicznymi, stanowiąc tylko podstawę do opracowania metody analizy efektywności uwzględniającej przykładowo punktową ocenę znaczenia rozpatrywanych czynników. Lista wskaźników i kryteriów oceny zawarta w pracy może być rozszerzona o inne czynniki zdefiniowane m. in. w publikacji [16]. Dotyczy to zwłaszcza wskaźników

przydatnych w ekonomicznej analizie zakładu mleczarskiego. Należy zaznaczyć, że podobny zakres analizy może być zastosowany do oceny zakładów innych branż przemysłu rolno-spożywczego [19, 21].

Zainteresowanych wynikami badań autorzy zapraszają na konsultacje: e-mail janusz_wojdalski@sggw.pl, bogdan_drozdz@sggw.pl.

LITERATURA

- [1] Bosworth M., Hummelsmose B., Christiansen K.: Cleaner Production Assessment in Dairy Processing, COWI Consulting Engineers and Planners AS, Denmark, 2000, 17-21.
- [2] Budny J.: Energetyczna ocena biomasy na tle paliw konwencjonalnych, Materiały XXIV Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Problemy gospodarki energią i środowiskiem w przemyśle mleczarskim”, Słok k. Bełchatowa, 2005, 15-23.
- [3] Doniec A., Pękala A.: Ogólna charakterystyka strumieni odpadów powstających w przemyśle mleczarskim dla potrzeb ich minimalizacji, Ogólnopolski Informator Mleczarski, 2000, 12 (49), 2-9.
- [4] Kaleta A., Wojdalski J.: (red.): Przetwórstwo rolno-spożywcze, Wybrane zagadnienia inżynieryjno-produkcyjne i energetyczne, Wyd. SGGW, Warszawa, 2007, 191-195.
- [5] Kowalczyk R., Karp K.: Energochłonność oczyszczania ścieków w wybranym zakładzie przemysłu mleczarskiego, Problemy Inżynierii Rolniczej, 2005, 4, 79-88.
- [6] Nowak Z.: Zrównoważona produkcja i konsumpcja jako podstawowy cel wdrażania filozofii czystszej produkcji, Czysta Produkcja i Eko-Zarządzanie, 2007, 9, 1-5.
- [7] Olech M., Szpak J., Tkacz K.: Ekonomiczna ocena węgla kamiennego spalane go w kotłowniach polskiego przemysłu mleczarskiego, Materiały XXIII Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Problemy gospodarki energią i środowiskiem w przemyśle mleczarskim”, Rytyro, 2004, 89-95.
- [8] Özbaya A., Demirer G.N.: Cleaner production opportunity assessment for a milk processing facility, Journal of Environmental Management, Vol. 84 (4), 2007, 484-493.
- [9] Pesta J., Krzemieniewski M., Janczukowicz W., Jędrzejewska M., Dębowski M.: Nowe technologie i urządzenia do oczyszczania ścieków oraz przeróbki osadów ściekowych z przemysłu mleczarskiego, Materiały XXII Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Problemy gospodarki energią i środowiskiem w przemyśle mleczarskim”, Druskienniki (Litwa), 2003, 58-82.
- [10] Prasad P., Pagan R., Kauter M., Price N.: Eco-efficiency for the Dairy Processing Industry, Environmental Management Centre, The University of Queensland, St Lucia, 2004, 43-48, 57-66.
- [11] Walton M.: Energy Use in Dairy Processing, International Journal of Dairy Technology, 60 (1), 2007, 60-61.
- [12] Wardrop Engineering Inc.: Guide to Energy Efficiency Opportunities in the Dairy Processing Industry, National Dairy Council of Canada, Mississauga, Ontario, 3-5, 1997, 28-29.
- [13] Wendorff B.: Wastewater volume – How do we compare? Dept. of Food Science, University of Wisconsin – Madison, 2007.
- [14] Wojdalski J., Drózd B.: Effect of selected technical and technological factors on water consumption in the milk plants, Annals of Warsaw Agricultural University, Agriculture (Agricultural Engineering), Warsaw 2001, 40, 53-58.
- [15] Wojdalski J., Drózd B.: Effect of various technical and organization-production factors on water consumption in milk production, Annals of Warsaw Agricultural University, Agriculture (Agricultural Engineering), Warsaw, 2002, 42, 51-57.
- [16] Wojdalski J., Drózd B.: Podstawy analizy oddziaływania zakładów przetwórstwa rolno-spożywczego na środowisko, Inżynieria Rolnicza, 5 (60), 2004, 363-371.
- [17] Wojdalski J., Drózd B.: Podstawy analizy energochłonności produkcji zakładów przemysłu rolno-spożywczego, MOTROL, Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, Tom 8A. Lublin, 2006, 294-304.
- [18] Wojdalski J., Drózd B., Brocki H.: Energochłonność i oddziaływanie na środowisko małego zakładu mleczarskiego, Materiały XXVI Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Problemy gospodarki energią i środowiskiem w przemyśle mleczarskim”, Karpacz, 2007, 184-190.
- [19] Wojdalski J., Drózd B., Lubach M.: Factors influencing energy consumption in fruit and vegetable processing plants, TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, Polish Academy of Sciences Branch in Lublin, Lublin, 2007, Vol. VII, 277-285.
- [20] Wojdalski J., Drózd B., Nowoszevska A.: Przykład analizy oddziaływania zakładu mleczarskiego na środowisko, Materiały XXV Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Problemy gospodarki energią i środowiskiem w przemyśle mleczarskim”, Rynek, k. Giżycka, 2006, 191-195.
- [21] WS Atkins International: Ochrona środowiska w przemyśle rolno-spożywczym, Standardy środowiskowe, FAPA, Warszawa, 1998, 62-65, 77, 80, 86-87.
- [22] WS Atkins – Polska: Najlepsze Dostępne Techniki (BAT) wytyczne dla branży mleczarskiej, Warszawa, 2005, 23-27.

ECO-EFFICIENCY OF DAIRY PROCESSING INDUSTRY

SUMMARY

A synthesis was presented of available data relating to eco-efficiency and implementation of cleaner production in the dairy processing industry. The material presented herein may prove to be useful for determination of the demand for energy and water carriers as well as for determination of environmental standards in processing plants in this branch of industry.

Key words: dairy processing, eco-efficiency, energy, water, cleaner production.