

Energia, woda i środowisko w produkcji mleczarskiej – zarys problematyki

Janusz Wojdalski^{1,3,4}, Roman Niżnikowski^{2,3}

¹Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Inżynierii Produkcji

²Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Hodowli, Bioinżynierii i Ochrony Zwierząt, Katedra Hodowli Zwierząt

³Stowarzyszenie na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju Polski w Warszawie

⁴Stowarzyszenie Naukowo-Techniczne Energia i Środowisko w Mleczarstwie w Olsztynie

W krajach UE produkuje się ponad 149 700 tys. ton mleka. Pod tym względem Polska zajmuje czwarte miejsce, mając 8,3% udziału [17]. Uwarunkowania wynikające z rolnictwa i hodowli zwierząt, czystsza produkcja, wzrost efektywności energetycznej, zmniejszanie zużycia wody, aspekty ekonomiczne i ekoefektywność inwestycji są czynnikami mającymi wpływ na strategię dążenia do zrównoważonego rozwoju (rys. 1). Szczegółowe komponenty składające się na tę strategię [30, 35] przedstawiono na rysunku 2. Problematyką tą zajmuje się wiele ośrodków naukowo-badawczych na świecie, publikując materiały o różnej szczegółowości [1, 2, 7, 8, 9, 23, 24, 25].

Dla oceny działań produkcyjnych stosuje się mierniki efektywności produkcji, efektywności energetycznej, energochłonności produkcji i ekoefektywności (rozwińnięcie tej problematyki zawarto w pracach Burchart-Korol i wsp. [4] oraz Czapliskiej-Kolarz i wsp. [5]). Celem zakładów mleczarskich jest osiągnięcie wysokich standardów środowiskowych, wyrażających niski lub zmniejszający się wpływ prowadzonej działalności na środowisko. Należy zaznaczyć, że zarówno efektywność produkcji (EP), jak i efektywność energetyczna (EE) stanowią ilorazy: (efekt)/(nakład). Zgodnie z ustawą z dnia 15 kwietnia 2011 r., efektywność energetyczna jest określana jako „stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, w typowych warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację, niezbędnej do uzyskania tego efektu” (Dz.U. 2011 nr 94 poz. 551). Ekoefektywność (EkoE) może być także wyrażana podobnym ilorazem: (efekt środowiskowy)/(nakład poniesiony na uzyskanie efektu środowiskowego), np. wyrażonym wskaźnikiem Mg zanieczyszczeń/mln zł, interpretowanym jako łączne zmniejszenie emisji zanieczyszczeń na jednostkę poniesionych kosztów inwestycyjnych. Koszt wytworzenia 1 Mg (tony) produktu na jednostkę emitowanych zanieczyszczeń (zł/Mg zanieczyszczeń) można obliczyć na podstawie zależności: $(\text{zł/Mg zanieczyszczeń}) = (\text{zł/Mg produktu}) / ((\text{Mg zanieczyszczeń/Mg produktu}))$.



Rys. 1. Uwarunkowania zrównoważonego rozwoju produkcji mleczarskiej

Wzrost efektywności energetycznej jest związany ze zmniejszaniem zużycia zasobów naturalnych (głównie paliw), redukcją emisji substancji zanieczyszczających środowisko oraz masą wytwarzanych odpadów. Korzyści zakładów mleczarskich obejmują zmniejszanie kosztów związanych z zakupem nośników energii i usuwaniem odpadów oraz wzrost konkurencyjności.

Publikacje Komisji Europejskiej, WS Atkins International i WS Atkins – Polska [10, 33, 34] są przydatne dla organów zajmujących się wydawaniem pozwoleń zintegrowanych oraz tych zakładów mleczarskich, które posiadają instalacje objęte obowiązkiem uzyskania wy-

łączenia, niezbędnej do uzyskania tego efektu” (Dz.U. 2011 nr 94 poz. 551). Ekoefektywność (EkoE) może być także wyrażana podobnym ilorazem: (efekt środowiskowy)/(nakład poniesiony na uzyskanie efektu środowiskowego), np. wyrażonym wskaźnikiem Mg zanieczyszczeń/mln zł, interpretowanym jako łączne zmniejszenie emisji zanieczyszczeń na jednostkę poniesionych kosztów inwestycyjnych. Koszt wytworzenia 1 Mg (tony) produktu na jednostkę emitowanych zanieczyszczeń (zł/Mg zanieczyszczeń) można obliczyć na podstawie zależności: $(\text{zł/Mg zanieczyszczeń}) = (\text{zł/Mg produktu}) / ((\text{Mg zanieczyszczeń/Mg produktu}))$.



Rys. 2. Czynniki i kierunki obejmujące strategię zrównoważonego rozwoju

mienionego pozwolenia. Cytowane materiały nie wyczerpują problematyki efektywności energetycznej i ekologiczności, gdyż w niektórych przypadkach zawierają pewne luki lub wymagają aktualizacji, jak np. praca WS Atkins – Polska [34]. Zakłady mleczarskie różnią się bowiem zarówno pod względem struktury przerobu mleka, jak też stosowanych innowacji technologicznych. Na przykład w opracowaniach Boguniewicz-Zabłockiej i wsp. [2] oraz Wojdalskiego i wsp. [32] przytoczono materiały porównawcze związane z wymaganiami co do jakości wody oraz gospodarką wodno-ściekową uwzględniającą zróżnicowaną strukturę przerobu mleka. Pesta i wsp. [19] przedstawiają możliwości neutralizacji osadów ściekowych, co istotnie wpływa na zmniejszenie oddziaływania zakładów mleczarskich na środowisko. Zakres i szczegółowość oceny oddziaływania na środowisko mogą być zwiększane w zależności od potrzeb w zakresie zarządzania nośnikami energii oraz ilości wyników zebranych w warunkach funkcjonowania zakładów (rys. 3).



Rys. 3. Zasady poprawnego zarządzania nośnikami energii

Celem niniejszego opracowania jest przegląd wybranych danych literaturowych dotyczących ekologicznych aspektów przerobu mleka z uwzględnieniem wyników zawartych w pracach autorów, jak również znajdujących się w materiałach konferencji pt. „Problemy gospodarki energią i środowiskiem w przemyśle mleczarskim”, organizowanych regularnie od 1982 roku. Zamierzeniem autorów jest przedstawienie materiału, który może posłużyć zakładom mleczarskim do porównań lub weryfikacji danych uzyskiwanych w praktyce produkcyjnej.

W tabeli 1. zestawiono wskaźniki przydatne w ocenie efektywności energetycznej produkcji mleczarskiej, zużycia wody i strumienia zanieczyszczeń, przydatnych do oceny proekologicznych zamierzeń inwestycyjnych obejmujących zakład produkcyjny. Uwzględniono także zużycie opakowań. Wskaźniki dotyczą zróżnicowanej liczby zakładów mleczarskich, w których prowadzono

badania. Ze względu na reprezentatywność wyników, największą przydatność stanowią dane pochodzące z dużej liczby zakładów, uwzględnione w pracach Bosworth i wsp. [3], Kalety i Wojdalskiego [14], Wardrop Engineering Inc. [29], Wojdalskiego i wsp. [32] oraz WS Atkins International [33], zawierające najwięcej szczegółów dotyczących wpływu różnych czynników technicznych, technologicznych i organizacyjno-produkcyjnych na zużycie energii i wody. W publikacji WS Atkins International [33] wymieniono jednostkowe zużycie energii uśrednione dla branży mleczarskiej, uwzględniając duży zakres zmienności. Dla porównania w pracy Kalety i Wojdalskiego [14] wyodrębniono cztery typy zakładów mleczarskich różniące się strukturą przerobu mleka, z uwzględnieniem pór roku. Największą energochłonnością produkcji charakteryzują się zakłady z proszkownią mleka. Jednocześnie zakłady te mają najniższą efektywność energetyczną przerobu 1 m³ mleka wśród wymienionych w tabeli 1. czterech typów zakładów różniących się strukturą przerobu mleka. W wysokim stopniu (w zakresie od 84 do 97%) wyjaśniono zmienność wskaźników jednostkowego zużycia energii elektrycznej w poszczególnych typach zakładów. Zużycie energii cieplnej w zakładach mleczarskich z proszkownią mleka było około dwukrotnie wyższe w porównaniu z zakładami wyłącznie z tzw. działem miejskim, obejmującym produkcję mleka spożywczego, napojów i twarogów. Zmienność tego wskaźnika w największym stopniu była wyjaśniona w zakładach bez „działu miejskiego” i wynosiła ponad 91%. Z pracy Bosworth i wsp. [3] wynika celowość wprowadzania regeneracji ciepła i wykorzystywania wody gorącej jako nośnika energii. Dzięki temu uzyskano 2-3-krotne zmniejszenie jednostkowego zużycia ciepła poprzez wyeliminowanie jednego etapu przemian energii. Największy zakres informacji dotyczącej poziomu efektywności energetycznej i energochłonności wnoszą wskaźniki uwzględniające łączne zużycie energii i zużycie paliwa ekwiwalentnego. Zużycie paliwa ekwiwalentnego jest uniwersalną miarą efektywności energetycznej produkcji dla porównania zakładów stosujących paliwa o różnej wartości opałowej. Wyniki badań z tego zakresu znajdują się w kręgu zainteresowań badaczy tzw. śladu węglowego i analizie cyklu życia produktów LCA [11, 12, 13, 28]. Kolejna grupa wskaźników jest związana z gospodarką wodno-ściekową zakładów mleczarskich. Wskaźniki jednostkowego zużycia wody także wykazują zróżnicowanie w zależności od typu zakładu. Największe wartości liczbowe wskaźników jednostkowego zużycia wody występują w zakładach z proszkownią mleka. Szczegółowe wyniki badań w tym zakresie przedstawiono w pracy Wojdalskiego i wsp. [32]. Użytkowanie wody jest każdorazowo uwzględniane przy analizie warunków wdrażania czystszej produkcji śladu wodnego [16, 18, 21, 22, 27, 36]. Wskaźnik BZT₅ jest oznaczeniem niezbędnym do oszacowania ładunku zanieczyszczeń w ściekach. Kowalczyk i Karp [15] przedstawili oryginalne wyniki badań nad energochłonnością oczyszczania ścieków mleczarskich. Wykazano, że w badanej oczyszczalni ok. 80% energii zużywano na jej utrzymanie w ruchu, niezależnie od wy-

Tabela 1

Wybrane wskaźniki i czynniki stosowane do oceny ekologicznych aspektów zakładów przemysłu mleczarskiego

Wskaźniki i czynniki stosowane do oceny	Wymiar wskaźnika (specyficzne cechy zakładu)	Średnie wartości liczbowe	Zakres		Źródło
			wartości minimalne	wartości maksymalne	
1	2	3	4	5	6
Efektywność zużycia energii elektrycznej	dm ³ mleka surowego/kWh	11,11	1,47	100	WS Atkins International [33]
	dm ³ mleka/kWh (z proskownią mleka)	23,9; 19,7*	–	–	Kaleta i Wojdalski [14]
	dm ³ mleka/kWh (bez proskowni mleka)	27,8; 25,0*	–	–	
	dm ³ mleka/kWh (bez działu miejskiego)	26,4; 23,4*	–	–	
	dm ³ mleka/kWh (wyłącznie z działem miejskim)	31,1; 32,6*	–	–	
	dm ³ mleka spożywczego/kWh	–	5,0	14,3	Komisja Europejska [10]
	dm ³ mleka/kWh (proskowania)	–	2,50	3,33	
	kg lodów spożywczych/kWh	–	0,36	1,66	
Efektywność zużycia energii cieplnej	dm ³ mleka surowego/GJ	476	71	8330	WS Atkins International [33]
	dm ³ przerabianego mleka/GJ (z proskownią mleka)	349	–	–	Kaleta i Wojdalski [14]
	dm ³ przerabianego mleka/GJ (bez proskowni mleka)	523	–	–	
	dm ³ przerabianego mleka/GJ (bez działu miejskiego)	448	–	–	
	dm ³ przerabianego mleka/GJ (wyłącznie z działem miejskim)	704	–	–	
	kg przerabianego mleka/GJ (nowoczesne zakłady z regeneracją ciepła)	2940	–	–	Bosworth i wsp. [3]
	kg przerabianego mleka/GJ (nowoczesne zakłady wykorzystujące gorącą wodę jako nośnik energii)	2000	–	–	
	kg przerabianego mleka/GJ (starsze zakłady wykorzystujące parę wodną jako nośnik energii)	500	–	–	
Efektywność zużycia węgla	dm ³ mleka surowego/kg	7,69	0,83	50,00	WS Atkins International [33]
Łączna efektywność energetyczna produkcji	dm ³ przerobionego mleka/GJ	329**	238**	518**	Wojdalski i wsp. [31]
	dm ³ przerobionego mleka/GJ	406***	282***	714***	
Efektywność zużycie paliwa ekwiwalentnego (c.e.)	dm ³ przerobionego mleka/ kg p.u.	9,61**	6,99**	15,1**	Wojdalski i wsp. [31]
	dm ³ przerobionego mleka/ kg p.u.	11,90***	8,26***	20,83***	
Efektywność zużycia wody	dm ³ przerabianego mleka/m ³ (z proskownią mleka)	153	–	–	Wojdalski i wsp. [32]
	dm ³ przerabianego mleka/m ³ (bez proskowni mleka)	166	–	–	
	dm ³ przerabianego mleka/m ³ (bez działu miejskiego)	198	–	–	
	dm ³ przerabianego mleka/m ³ (wyłącznie z działem miejskim)	195	–	–	
	kg produktu/dm ³	–	0,105	0,452	Bosworth i wsp. [3]
	dm ³ mleka spożywczego/dm ³	–	0,55	1,66	Komisja Europejska [10]
	dm ³ mleka/m ³ (proskowania)	–	588	1250	
	kg lodów spożywczych/dm ³	–	0,20	0,25	

1	2	3	4	5	6
Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu BZT ₅	kg/m ³ mleka surowego	1,25	0,01	6,76	WS Atkins International [33]
	mg O ₂ /dm ³ ścieków (przed oczyszczeniem)	836	100	2406	
	mg O ₂ /dm ³ ścieków (po oczyszczeniu)	251	6	1150	
Odprowadzane ścieki	m ³ ścieków/m ³ przerabianego mleka	3,00	1,17	4,69	Czyżyk i wsp. [6]
Energochłonność oczyszczania ścieków	kWh/kg BZT ₅	–	0,89	3,22	Kowalczyk i Karp [15]
	kWh/m ³ ścieków	–	1,94	6,32	
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT)	kg/m ³ mleka surowego	2,19	0,1	13,3	WS Atkins International [33]
	mg O ₂ /dm ³ (przed oczyszczeniem)	1338	38	3560	
	mg O ₂ /dm ³ (po oczyszczeniu)	406	24	1850	
Emisja SO ₂	kg/m ³ mleka surowego	1,65	0,05	22,4	WS Atkins International [33]
	dm ³ przerabianego mleka/kg	1205	–	–	Wojdalski i wsp. [31]
Emisja NO _x	kg/m ³ mleka surowego	0,49	0,03	6,4	WS Atkins International [33]
	dm ³ przerabianego mleka/kg	1667	–	–	Wojdalski i wsp. [31]
Emisja CO ₂	kg CO ₂ /kg mleka w opakowaniu	0,077	0,0661	0,0879	Thoma i wsp. [26]
Emisja pyłów	kg/m ³ mleka surowego	1,3	0,01	14,4	WS Atkins International [33]
	kg/m ³ przerabianego mleka	1,15	–	–	Wojdalski i wsp. [31]
Osady ściekowe	kg/m ³ mleka surowego	5,8	0,03	38,7	WS Atkins International [33]
Popioły węglowe	kg/m ³ mleka surowego	19	0,01	193	WS Atkins International [33]
	dm ³ przerabianego mleka/kg	25 000	–	–	Wojdalski i wsp. [31]
Odpady organiczne	kg/m ³ mleka surowego	256	0,51	734	WS Atkins International [33]
	dm ³ przerabianego mleka/kg	1099	–	–	Wojdalski i wsp. [31]
Zużycie papieru i tektury	kg/m ³ mleka surowego	16,95	0,72	31,42	Czyżyk i wsp. [6]
Zużycie tworzyw sztucznych		1,53	0,46	5,16	
Zużycie aluminium		0,21	0,22	0,23	

*W zależności od pory roku (odpowiednio: lato; zima)

**Uwzględniają łączne zużycie energii cieplnej i energii elektrycznej przeliczone na energię pierwotną, przyjmując do obliczeń 1 kWh=3,6 MJ/0,3 (współczynnik 0,3 wyraża sprawność przemian energii i jej transportu);

***Uwzględniają łączne zużycie energii cieplnej i energii elektrycznej przeliczone na energię pierwotną, przyjmując przeliczenie 1 kWh=3,6 MJ

stępującego strumienia ścieków. Ponadto dwukrotnemu 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 bilansie energii elektrycznej zużywanej w całym zakładzie udział tej energii na oczyszczanie ścieków zawierał się w granicach od 13,6 do 17,3%.

Analizę takich czynników, jak: ChZT, emisja gazów i pyłów powstających przy spalaniu paliw oraz odprowadzanie odpadów zamieszczono w publikacjach WS Atkins International [33] i WS Atkins – Polska [34]. Na podstawie badań Wojdalskiego i wsp. [32] przytoczono przykładowe wyniki emisji zanieczyszczeń stałych i gazowych do atmosfery, które uznać należy za weryfikację źródeł literaturowych.

Innowacje produkcyjne wpływają na zmniejszanie zużycia nośników energii i wody. Na przykład Komisja Europejska [10] podaje, że w duńskim zakładzie mleczarskim (serowarskim) wprowadzono zestaw do ultrafiltracji, składający się z dziesięciu spiralnie zwijanych modułów wyposażonych w membrany polimerowe oraz niezbędnych pomp, przetworników przepływu i zaworów regulujących. Wydajność filtracji wynosiła 65 000 dm³/h. Zawartość białka w mleku była standaryzowana do poziomu 3,7-3,8%. W porównaniu z tradycyjną metodą standaryzacji, uzysk sera był wyższy i nastąpiło zmniejszenie objętości mleka o 12%. W tabeli 2. przedstawiono roczne zużycie energii i wody w badanym zakładzie oraz zmniejszenie zużycia tych nośników na tonę sera.

Tabela 2
Energetyczne aspekty produkcji sera

Nośnik energii	Roczne zużycie	Redukcja zużycia na jednostkę produktu
Energia cieplna	1700 GJ/rok	176,4 MJ/Mg sera
Woda	7500 m ³ /rok	300 dm ³ /Mg sera

Przedstawione wskaźniki i czynniki stosowane do oceny efektywności energetycznej produkcji mogą mieć znaczenie w bieżącej eksploatacji zakładów mleczarskich. Ponadto mogą stanowić podstawę do porównań w związku z wdrażaniem zasad czystszej produkcji lub zmniejszania emisji zanieczyszczeń. Zestaw wskaźników i kryteriów oceny efektywności energetycznej zawarty w opracowaniu może być rozszerzony o inne czynniki, zdefiniowane m.in. w publikacji Pesty i wsp. [19]. Wskaźnik efektywności produkcji zdefiniowano w celu ujednoczenia obliczeń we wnioskach o dofinansowanie na cele ochrony środowiska. Efektywność, będąc narzędziem strategicznym, należy bowiem do podstawowych czynników zrównoważonego rozwoju. Na podstawie analizy efektywności zużycia nośników energii i wody oraz efektywności można podjąć decyzje odnośnie do planowanych inwestycji. Przedstawione wyniki stanowią uzupełnienie prac Prasada i wsp. [20] oraz Wojdalskiego i Drózdza [30]. Wskaźniki zawarte w opracowaniu mogą być przydatne do określania standardów środowiskowych w zakładach tej branży.

Literatura: 1. **Aghbashlo M.**, 2016 – Application of exergy analysis to the dairy industry. *Fuel* 12 (12), 1-1. 2. **Boguniewicz-Zabłocka J., Klosok-Bazan I., Naddeo V.**, 2019 – Water quality and resource management in the dairy industry. *Environmental Science and Pollution Research* 26 (2), 1208-1216. 3. **Bosworth M., Hummelsmose B., Christiansen K.**, 2000 – Cleaner Production Assessment in Dairy Processing. COWI Consulting Engineers and Planners AS, Denmark, 17-21. 4. **Burchart-Korol D., Kruczek M., Czapliska-Kolarz K.**, 2013 – Wykorzystanie efektywności w ocenie poziomu ekoinnowacyjności (http://ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2013/p026.pdf; dostęp 25.10.2019). 5. **Czapliska-Kolarz K., Burchart-Korol D., Krawczyk P.**, 2010 – Metodyka analizy efektywności. *JEcoHealth* 14, 6, 267. 6. **Czyżyk F., Strzelczyk**

M., Steinhoff-Wrzeźniewska A., Godzwon J., Rajmund A., Koldras J., Kaca E., 2010 – Wytyczne w zakresie wykorzystania produktów ubocznych oraz postępowania zalecanego w rolnictwie i przemyśle rolno-spożywczym. MRIRW, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Falenty-Warszawa, 74-89. 7. **Doniec A., Pękala A.**, 2000 – Ogólna charakterystyka strumieni odpadów powstających w przemyśle mleczarskim dla potrzeb ich minimalizacji. *Ogólnopolski Informator Mleczarski* 12 (49), 2-9. 8. **Dowlati M., Aghbashlo M., Soufiyan M.**, 2017 – Exergetic performance analysis of an ice-cream manufacturing plant: a comprehensive survey. *Energy* 123, 445-459. 9. **Dominguez-Niño A., Cantú-Lozano D., Ragazzo-Sanchez J.A., Andrade-González I., Luna-Solano G.**, 2018 – Energy requirements and production cost of the spray drying process of cheese whey. *Drying Technology* 36 (5), 597-608. 10. **European Commission**, 2006 – Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. 11. **Flysjö A., Cederberg C., Henriksson M., Ledgard S.**, 2011 – How does co-product handling affect the carbon footprint of milk? Case study of milk production in New Zealand and Sweden. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 5, 16, 420-430. 12. **Hospido A., Moreira M.T., Feijoo G.**, 2003 – Simplified life cycle assessment of Galician milk production. *International Dairy Journal* 10, 13, 783-796. 13. **Huang J., Xu C.C., Ridoutt B.G., Liu J.J., Zhang H.L., Chen F., Li Y.**, 2014 – Water availability footprint of milk and milk products from large-scale dairy production systems in Northeast China. *Journal of Cleaner Production* 79, 91-97. 14. **Kaleta A., Wojdalski J.** (red.), 2008 – Przetwórstwo rolno-spożywcze. Wybrane zagadnienia inżynierjno-produkcyjne i energetyczne. Wyd. SGGW, Warszawa, 191-195. 15. **Kowalczyk R., Karp K.**, 2005 – Ergochłonność oczyszczania ścieków w wybranym zakładzie przemysłu mleczarskiego. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 4, 79-88. 16. **Murphy E., De Boer I.J.M., Van Middelaar C.E., Holden N.M., Shalloo L., Curran T.P., Upton J.**, 2017 – Water footprinting of dairy farming in Ireland. *Journal of Cleaner Production* 140, 547-555. 17. **Olszewska M.**, 2015 – Produkcja mleka w Polsce na tle świata i krajów Unii Europejskiej. *Wiadomości Zootechniczne* 53 (3), 150-157. 18. **Özbay A., Demirer G.N.**, 2007 – Cleaner production opportunity assessment for a milk processing facility. *Journal of Environmental Management* 84 (4), 484-493. 19. **Pesta J., Krzemieniewski M., Janczukowicz W., Jędrzejewska M., Dębowski M.**, 2003 – 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”. *Drukienniki (Litwa)*, 58-82. 20. **Prasad P., Pagan R., Kauter M., Price N.**, 2004 – Eco-efficiency for the Dairy Processing Industry. Environmental Management Centre, The University of Queensland, St. Lucia, 43-48, 57-66. 21. Przewodnik IDF do metodologii śladu wodnego w sektorze mleczarskim. *Biuletyn Międzynarodowej Federacji Mleczarskiej* 486/2017 (http://www.mleko-land.com/download/filidf_biuletyny/biuletyn%20FIL_IDF%202017.486%20slad%20wodny.pdf). 22. **Ridoutt B.G., Williams S.R.O., Baud S., Fraval S., Marks N.**, 2010 – The water footprint of dairy products: Case study involving skim milk powder. *Journal of Dairy Science* 93 (11), 5114-5117. 23. **Soufiyan M.M., Aghbashlo M.**, 2017 – Application of exergy analysis to the dairy industry: A case study of yogurt drink production plant. *Food and Bioproducts Processing* 101, 118-131. 24. **Soufiyan M.M., Aghbashlo M., Mobli H.**, 2017 – Exergetic performance assessment of a long-life milk processing plant: a comprehensive survey. *Journal of Cleaner Production* 140,

590-607. **25. Steinhoff-Wrzeźniewska A., Rajmund A., Godzwon J.**, 2013 – Zużycie wody w wybranych branżach przemysłu spożywczego. *Inżynieria Ekologiczna* 32, 164-171. **26. Thoma G., Popp J., Nutter D., Shonnard D., Ulrich R., Matlock M., Adom F.**, 2013 – Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-grave life cycle assessment circa 2008. *International Dairy Journal* 31, S3-S14. **27. Vasilaki V., Katsou E., Ponsá S., Colón J.**, 2016 – Water and carbon footprint of selected dairy products: A case study in Catalonia. *Journal of Cleaner Production* 139, 504-516. **28. Vergé X.P.C., Maxime D., Dyer J.A., Desjardins R.L., Arcand Y., Vanderzaag A.**, 2013 – Carbon footprint of Canadian dairy products: Calculations and issues. *Journal of Dairy Science* 96 (9), 6091-6104. **29. Wardrop Engineering Inc.**, 1997 – Guide to Energy Efficiency Opportunities in the Dairy Processing Industry. National Dairy Council of Canada, Mississauga, Ontario, 3-5, 28-29. **30. Wojdalski J., Drózdź B.**, 2008 – Ekoefektywność przemysłu mleczarskiego. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1, 89-92. **31. Wojdalski J., Drózdź B., Brocki H.**, 2008 – Ener-

gochłonność i oddziaływanie na środowisko małego zakładu mleczarskiego. *Materiały XXVI Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Problemy gospodarki energią i środowiskiem w przemyśle mleczarskim”*. Karpacz, 184-190. **32. Wojdalski J., Drózdź B., Piechocki J., Gaworski M., Zander Z., Marjanowski J.**, 2013 – Determinants of water consumption in the dairy industry. *Polish Journal of Chemical Technology* 15 (2), 61-72. **33. WS Atkins International**, 1998 – Ochrona środowiska w przemyśle rolno-spożywczym. *Standardy środowiskowe*. FAPA, Warszawa, 62-65, 77, 80, 86-87. **34. WS Atkins – Polska**, 2005 – *Najlepsze Dostępne Techniki (BAT) wytyczne dla branży mleczarskiej*. Warszawa, 23-27. **35. Zichichi A.**, 2016 – The role of science for a sustainable development of the World in the Third Millennium: Project for Mankind (in Sustainable Development in context of LAUDATO SI, 364-462). Warszawa, 13 of October 2016 (ISBN 978-83-89124-02-0). **36. Zonderland-Thomasen M., Ledgard S.F.**, 2012 – Water footprinting – A comparison of methods using New Zealand dairy farming as a case study. *Agricultural Systems* 110, 30-40.

Wspomnienie o Profesorze Krumie Petkovie w 4. rocznicę śmierci (1947-2015)



Można odejść na zawsze, by stale być blisko
(ks. J. Twardowski)

Krum Petkov urodził się 16 stycznia 1937 roku w Rakowski w Bułgarii. Studia na Uniwersytecie Agrotechnicznym w Plovdiv (Bułgaria) ukończył w 1959 roku. Po studiach przyjechał do Polski. Dzięki uporowi i zaangażowaniu Jego kariera naukowa przebiegała dynamicznie. Stopień naukowy doktora habilitowanego uzyskał w 1982 roku na Wydziale Zootechnicznym Akademii Rolniczej w Szczecinie. Decyzją Ministra Szkolnictwa Wyższego 1 sierpnia 1983 roku został mianowany na stanowisko docenta, a 15 października 1991 roku – na stanowisko profesora nadzwyczajnego. W roku 1994 Prezydent RP nadał Mu tytuł naukowy profesora, a w 1998 roku Minister Edukacji Narodowej mianował Go na profesora zwyczajnego.

Profesor Krum Petkov od 1986 roku pełnił funkcję kierownika Katedry Żywienia Zwierząt i Gospodarki Paszowej Akademii Rolniczej w Szczecinie (późniejszej Katedry Żywienia Zwierząt i Żywności Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie). Funkcję tę sprawował nieprzerwanie do 2006 roku.

Na dorobek naukowy prof. zw. dr. hab. Kruma Petkova składają się książki i rozdziały w książkach, artykuły

w zagranicznych czasopismach naukowych, w obcojęzycznych czasopismach wydawanych w Polsce, w ogólnokrajowych czasopismach naukowych, w zeszytach lokalnych, inne publikowane prace naukowe, prace i streszczenia w materiałach konferencyjnych międzynarodowych i krajowych, wdrożone rozwiązania konstrukcyjne i technologiczne, prace i projekty wyróżnione, nagrodzone, prace na rzecz podmiotów gospodarczych, opinie, ekspertyzy, ogółem ponad 339 pozycji. Z ważnych publikowanych pozycji warto wymienić skrypt do ćwiczeń „Genetyka zwierząt i metody hodowlane” (współautor, AR Szczecin 1977 r.), przewodnik metodyczny z przedmiotu „Chów zwierząt” dla studentów ZSZ Wydziału Rolniczego (współautor, AR Szczecin 1976 r.), przewodnik metodyczny dla studentów zaocznych studiów magisterskich Wydziału Rolniczego, Dział paszoznawstwo (współautor, AR Szczecin 1991 r.), przewodnik metodyczny z zakresu żywienia zwierząt i paszoznawstwa dla studentów ZSZ (współautor, AR Szczecin 1978 r.), przewodnik metodyczny dla studentów zaocznych kierunku Rolnictwo Wydziału Rolnego – Dział Ży-