



**AgEcon** SEARCH

RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

*No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.*

## DETERMINANTS OF IMPLEMENTATION OF THE CIRCULAR ECONOMY IN THE FOOD PROCESSING SECTOR ON THE EXAMPLE OF THE DAIRY INDUSTRY

### UWARUNKOWANIA IMPLEMENTACJI GOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM W SEKTORZE PRZETWÓRSTWA SPOŻYWCZEGO NA PRZYKŁADZIE BRANŻY MLECZARSKIEJ

ARKADIUSZ GRALAK  
RENATA GROCHOWSKA  
IWONA SZCZEPANIAK


**Citation:** Gralak, A., Grochowska, R., & Szczepaniak, I. (2022). Determinants of Implementation of the Circular Economy in the Food Processing Sector on the Example of the Dairy Industry / Uwarunkowania implementacji gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze przetwórstwa spożywczego na przykładzie branży mleczarskiej. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej / Problems of Agricultural Economics*, 372(3), 84–64. <https://doi.org/10.30858/zer/152535>

#### Abstract


*The aim of the study is to present the determinants of the potential application of the circular economy model in the food processing sector on the example the dairy industry. The first part of the article analyzes various factors that stimulate and limit the transformation of the dairy industry towards the circular economy. The second part presents the examples of solutions corresponding to the idea of a circular economy that have been implemented or are planned to be implemented in dairy enterprises. This paper is an overview. It uses strategic EU and national documents, literature on the circular economy in agri-food systems, as well as reports from the trade press presenting specific examples of the implementation of circular economy solutions in dairies. The analysis shows that in the dairy industry there are great opportunities to implement the circular economy model, but it is a complex process under the influence of stimulating and limiting factors. It requires systemic changes at various levels of the economy, significant financial resources, and above all, adaptation investments in the field of innovative technologies, energy systems, and water and wastewater management. Successful activities supporting the transformation towards the circular economy implemented in dairy enterprises include in particular solutions consisting in: reducing the amount of waste produced and reusing it, direct use of by-products, using renewable energy sources (in heating and cooling systems), reducing consumption of water and reusing it, using eco-friendly packaging and sustainable transportation. In conclusion, it should be stated that*

---


Arkadiusz Gralak, DEng, Institute of Agricultural and Food Economics National Research Institute, Department of Agribusiness and Bioeconomy; ul. Świętokrzyska 20, 00-002 Warsaw, Poland. ([arkadiusz.gralak@ierigz.waw.pl](mailto:arkadiusz.gralak@ierigz.waw.pl)).

 <https://orcid.org/0000-0002-2658-1750>

Renata Grochowska, PhD, DSc, Assoc. Prof. of Institute of Agricultural and Food Economics National Research Institute, Department of Agribusiness and Bioeconomy; ul. Świętokrzyska 20, 00-002 Warsaw, Poland. ([renata.grochowska@ierigz.waw.pl](mailto:renata.grochowska@ierigz.waw.pl)).

 <https://orcid.org/0000-0002-0102-953X>

Iwona Szczepaniak, PhD, DSc, Assoc. Prof. of Institute of Agricultural and Food Economics National Research Institute, Department of Agribusiness and Bioeconomy; ul. Świętokrzyska 20, 00-002 Warsaw, Poland. ([iwona.szczepaniak@ierigz.waw.pl](mailto:iwona.szczepaniak@ierigz.waw.pl)).

 <https://orcid.org/0000-0002-1511-4428>

*the actions taken by the food processing sector, including the dairy industry, aimed at transformation towards the circular economy are necessary, especially in the context of the challenges related to the European Green Deal and the Farm to Fork Strategy.*

**Keywords:** circular economy, food processing sector, dairy industry.

**JEL codes:** P42, Q56, O13.

### Abstrakt

*Celem opracowania jest przedstawienie uwarunkowań potencjalnego zastosowania modelu gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) w sektorze przetwórstwa spożywczego na przykładzie branży mleczarskiej. W pierwszej części artykułu dokonano analizy różnych czynników stymulujących oraz ograniczających transformację mleczarstwa w kierunku GOZ. W drugiej zaprezentowano zaś przykłady rozwiązań odpowiadających idei gospodarki o obiegu zamkniętym, które zostały wdrożone lub są planowane do wdrożenia w przedsiębiorstwach mleczarskich. Praca ma charakter przeglądu. Wykorzystano w niej strategiczne dokumenty unijne i krajowe oraz literaturę przedmiotu na temat gospodarki o obiegu zamkniętym w systemach rolno-spożywczych, ponadto doniesienia z prasy branżowej przedstawiające konkretne przykłady implementacji rozwiązań z zakresu GOZ w mleczarniach. Z przeprowadzonej analizy wynika, że w branży mleczarskiej istnieją duże możliwości wdrażania modelu gospodarki cyrkularnej, ale jest to proces złożony, przebiegający w warunkach oddziaływania czynników stymulujących i ograniczających. Proces ten wymaga zmian systemowych na różnych poziomach funkcjonowania gospodarki, zaangażowania znaczących środków finansowych, a przede wszystkim inwestycji dostosowawczych w zakresie innowacyjnych technologii, systemów energetycznych i gospodarki wodno-ściekowej. Wśród udanych działań sprzyjających transformacji w kierunku GOZ zrealizowanych w przedsiębiorstwach mleczarskich można w szczególności wymienić rozwiązania polegające na: redukcji ilości produkowanych odpadów oraz ponownym ich wykorzystaniu, bezpośrednim wykorzystywaniu produktów ubocznych, korzystaniu z odnawialnych źródeł energii (w systemach ogrzewania i chłodzenia), ograniczeniu zużycia oraz ponownemu wykorzystaniu wody, stosowaniu ekologicznych opakowań, wykorzystaniu ekologicznych środków transportu. Konkludując, należy stwierdzić, że podejmowane przez sektor przetwórstwa spożywczego, w tym branżę mleczarską, działania zmierzające do transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym to konieczność, zwłaszcza w kontekście wyzwań związanych z Europejskim Zielonym Ładem i strategią „Od pola do stołu”.*

**Słowa kluczowe:** gospodarka o obiegu zamkniętym, sektor przetwórstwa spożywczego, przemysł mleczarski.

**Kody JEL:** P42, Q56, O13.

### Introduction

Interest in the circular economy is growing around the world in response to the current unsustainable production and consumption model based on increased use and depletion of resources. The circular economy concept describes an economy in which the value of products, materials and raw materials is maintained in the economic cycle for as long as possible and the production of waste is limited to minimum (European Commission [EC], 2015). With regard to the European Green Deal goal of achieving climate neutrality for Europe by 2050, in March 2020 the European Commission proposed a new circular economy action plan focusing on waste prevention and management and aiming at boosting growth and competitiveness of the EU in this regard. The activities reflect the assumptions of the economy of sustainable development, which defines management determinants that break with

### Wstęp

Na całym świecie rośnie zainteresowanie gospodarką o obiegu zamkniętym (GOZ) w odpowiedzi na obecny niezrównoważony model produkcji i konsumpcji, oparty na zwiększonym wykorzystaniu i wyczerpywaniu się zasobów. Pojęcie GOZ opisuje gospodarkę, w której wartość produktów, materiałów oraz surowców jest utrzymywana w obiegu gospodarczym tak długo, jak to jest możliwe, a wytwarzanie odpadów ograniczone do minimum (European Commission [EC], 2015). Zgodnie z celem osiągnięcia neutralności klimatycznej UE do 2050 roku, zawartym w Europejskim Zielonym Ładzie, Komisja Europejska zaproponowała w marcu 2020 roku nowy plan działania dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym, koncentrujący się na zapobieganiu powstawania odpadów i gospodarowaniu nimi oraz mający na celu pobudzenie wzrostu i konkurencyjności UE w tym zakresie. Działania te są praktycznym odzwierciedleniem założeń ekonomii

activities in the perspective of short-term profits and considers socio-cultural determinants and those resulting from nature (Rogall, 2010).

The basic assumption of the circular economy model is to close the circulation of materials and enable the circulation of the recovered materials in subsequent new products and production processes, which should result in reduced amounts of raw materials from the environment. Consequently, products can be used many times and materials can be recycled many times, thus reducing the emissions of pollutants and excessive generation of waste. This model of economic development differs significantly from the current one, based on the mainstream economics on the market and market relations.

A real change of the current model will be possible when the transformation towards the circular economy covers all sectors of the economy, however, sectors and industries that depend to the greatest extent on the consumption of primary raw materials and generate the largest amounts of waste will be of particular importance in this regard. Hence, the actions of the European Union for the circular economy in the coming years will focus on seven key product value chains, such as: electronics and ICT (Information and Communication Technology), batteries, accumulators and vehicles, packaging, plastics, textiles, construction and buildings, food, water and nutrients (EC, 2020).

In the development strategies of enterprises in food processing sector implemented so far, particular attention has been paid to the issues of food safety and product quality. The implementation of standards related to Corporate Social Responsibility (CSR) has become an important tool for implementing a sustainable approach to the development of companies. Nowadays, greater and greater importance is attached to environmental, social, and related corporate governance (Environmental, Social and Corporate Governance – ESG) factors, which will affect the long-term results and value of companies. ESG factors define the criteria that every company striving for responsible and sustainable development should pay attention to. The ongoing transformation towards a circular economy poses many challenges for the food processing sector, but also creates opportunities for increasing its competitiveness.

Dairy is one of the most important industries in the food processing sector. A steady growth in demand for milk and dairy products has led to the dynamic development of the dairy industry, and consequently to an increase in water consumption and an increase in the production of wastewater and dairy waste. The food industry in Poland consumed approx.

zrównoważonego rozwoju, dążącej do zdefiniowania takich warunków gospodarowania, które zrywają z działaniami w perspektywie krótkookresowych zysków i uwzględniają uwarunkowania płynące ze strony natury oraz społeczno-kulturowe (Rogall, 2010).

Podstawowym założeniem modelu GOZ jest zamknięcie obiegu materiałów i umożliwienie „krążenia” odzyskanych materiałów w kolejnych, nowych wyrobach i procesach produkcyjnych, co powinno w rezultacie doprowadzić do zmniejszenia ilości surowców pozyskiwanych ze środowiska. W konsekwencji produkty mogą być wielokrotnie wykorzystywane, a materiały wielokrotnie przetwarzane, ograniczając w ten sposób emisję zanieczyszczeń i nadmierne generowanie odpadów. Ten model rozwoju gospodarczego odbiega znacznie od dotychczasowego, opartego zgodnie z głównym nurtem ekonomii na rynku i relacjach rynkowych.

Realna zmiana obecnego modelu możliwa będzie wtedy, gdy transformacja w kierunku GOZ obejmie wszystkie sektory gospodarki, jednakże szczególne znaczenie w tym względzie będą posiadały takie sektory i branże, które w największym stopniu są uzależnione od zużycia surowców pierwotnych oraz generują największe ilości odpadów. Stąd też działania Unii Europejskiej na rzecz GOZ w nadchodzących latach będą koncentrowały się na siedmiu kluczowych łańcuchach wartości produktów, takich jak: elektronika i ICT (ang. *Information and Communication Technology*), baterie, akumulatory i pojazdy, opakowania, tworzywa sztuczne, wyroby włókiennicze, budownictwo i budynki oraz żywność, woda i składniki odżywcze (EC, 2020).

W dotychczas realizowanych strategiach rozwoju przedsiębiorstw sektora przetwórstwa spożywczego szczególną uwagę zwracano na kwestie bezpieczeństwa żywności oraz jakości produktów. Ważnym narzędziem implementacji zrównoważonego podejścia do rozwoju firm stało się wdrażanie standardów w obszarze społecznej odpowiedzialności biznesu (ang. *Corporate Social Responsibility – CSR*). Współcześnie coraz większe znaczenie przypisuje się czynnikom środowiskowym, społecznym oraz związanemu z nimi łaadowi korporacyjnemu (ang. *Environmental, Social and Corporate Governance – ESG*), które będą oddziaływać na długoterminowe wyniki oraz wartość firm. ESG określa kryteria, na które powinna zwracać uwagę każda firma dążąca do odpowiedzialnego i zrównoważonego rozwoju. Zachodząca transformacja w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym stawia więc przed sektorem przetwórstwa spożywczego wiele wyzwań, ale również tworzy szanse na zwiększenie jego konkurencyjności.

793 hm<sup>3</sup> of water annually in 2014, with the dairy industry accounting for 35% of this consumption (Boguniewicz-Zablocka et al., 2019). The environmental impact of the dairy industry is also manifested in the generation of large amounts of wastewater. It is estimated that the processing of one liter of milk produces 0.2–10 liters of wastewater (Gramegna et al., 2020). Dairy wastewater, as compared to municipal or domestic wastewater, is characterized by a higher content of organic substances, mainly nitrogen and phosphorus compounds, which – if discharged into the environment without appropriate treatment – increases the risk of eutrophication of water reservoirs and watercourses (Kolev Slavov, 2017). Technological wastewater generated during the cleaning of cisterns, storage tanks, systems, and production rooms is the most dangerous to the environment, because it contains milk and dairy waste residues, as well as detergents and disinfectants (Boguniewicz-Zablocka et al., 2019). Wastewater from cheese production is also highly saline (Chen et al., 2019). The dairy industry also generates huge amounts of production and packaging waste. In-house coal-fired boiler rooms cause air pollution (emissions of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, soot, and ash). Dust from the spray drying process of milk or whey, as well as freons and ammonia compounds released from cooling systems are also a significant problem (Kasztelan, 2012). For the above reasons, it is necessary to implement innovative solutions in the dairy industry enterprises aimed at increasing efficiency of resource use, reducing the amount of wastewater and waste generated, as well as closing energy and material loops.

The aim of the article is to analyze the determinants of the potential use of the circular economy in the food processing sector on the example of the dairy industry. The first part of the paper analyzes various factors stimulating and limiting the transformation of the dairy industry towards the circular economy. The second one presents examples of solutions consistent with the circular economy concept, which have been implemented or are planned to be implemented in dairy companies.

Jedną z ważniejszych branż w sektorze przetwórstwa spożywczego jest mleczarstwo. Stały wzrost popytu na mleko i produkty mleczne doprowadził do dynamicznego rozwoju przemysłu mleczarskiego, a w konsekwencji do wzrostu zużycia wody oraz wzrostu produkcji ścieków i odpadów mleczarskich. Przemysł spożywczy w Polsce zużywał rocznie ok. 793 hm<sup>3</sup> wody w 2014 roku, przy czym mleczarstwo stanowiło aż 35% tego zużycia (Boguniewicz-Zablocka i in., 2019). Oddziaływanie mleczarstwa na środowisko przejawia się także w generowaniu dużych ilości ścieków. Szacuje się, że wskutek przetworzenia jednego litra mleka powstaje 0,2–10 litrów ścieków (Gramegna i in., 2020). Ścieki mleczarskie, w porównaniu ze ściekami komunalnymi bądź bytowymi, charakteryzują się większą zawartością substancji organicznych, głównie związków azotu i fosforu, przez co – jeśli są odprowadzane do środowiska bez odpowiedniego oczyszczania – zwiększają ryzyko eutrofizacji zbiorników i cieków wodnych (Kolev Slavov, 2017). Najbardziej niebezpieczne dla środowiska są ścieki technologiczne powstające podczas mycia cystern, zbiorników magazynowych, instalacji i pomieszczeń produkcyjnych, gdyż zawierają resztki mleka i odpadów mlecznych oraz detergenty i środki dezynfekujące (Boguniewicz-Zablocka i in., 2019). Ponadto ścieki powstające przy produkcji serów są silnie zasolone (Chen i in., 2019). Przemysł mleczarski generuje również ogromne ilości odpadów produkcyjnych oraz opakowaniowych. Zakładowe kotłownie opalane węglem powodują zanieczyszczenie powietrza (emisja SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, sadzy i popiołu). Istotny problem stanowią również pyły pochodzące z procesu suszenia rozpyłowego mleka lub serwatki, a także freony i związki amoniaku wydostające się z instalacji chłodniczych (Kasztelan, 2012). Z powyższych względów konieczne jest wdrażanie w przedsiębiorstwach przemysłu mleczarskiego innowacyjnych rozwiązań służących zwiększeniu efektywności wykorzystania zasobów, ograniczeniu ilości wytwarzanych ścieków i odpadów, a także zamykaniu pętli energetycznych i materiałowych.

Celem artykułu jest dokonanie analizy uwarunkowań potencjalnego zastosowania GOZ w sektorze przetwórstwa spożywczego na przykładzie branży mleczarskiej. W pierwszej części opracowania przedstawiono analizę różnych czynników stymulujących oraz ograniczających transformację mleczarstwa w kierunku GOZ. W drugiej zaś zaprezentowano przykłady rozwiązań zgodnych z ideą gospodarki o obiegu zamkniętym, które zostały wdrożone lub są planowane do wdrożenia w firmach mleczarskich.

This article is an overview. It is based on strategic EU and national documents as well as literature on the circular economy in agri-food systems, information from portals and the trade press on the implementation of circular economy solutions in dairy enterprises.

### **Possibilities of Implementing the Circular Economy in the Dairy Industry**

Transition from the linear economy to circular one is a complex and long-term process, requiring the implementation of many systemic changes at national, regional, and sectoral levels and significant technical and financial resources. To achieve the goals, action is required by all participants in the food chain, from the production of cattle feed, through milk production, processing, distribution, and trade, to consumption.

The course and effects of this transformation largely depend on initiatives undertaken by enterprises. It is crucial to develop new technologies, processes, and organizational solutions, thanks to which measures towards the circular economy, including innovation and eco-innovation are implemented. Innovation is an inherent feature of sustainable business models that facilitate the creation of a competitive advantage through activities that positively affect and/or reduce negative impact on the natural environment and society (Grochowska & Szczepaniak, 2019). The ability of companies to create and implement innovations is essential to close the loop. The 3R Principle, i.e. reduce, reuse, recycle<sup>1</sup> is becoming a determinant of the green strategy of enterprises.

The profound changes required by the transition to the circular economy can only take place under conditions that encourage innovation. This is to be facilitated by the European Union's policy of supporting innovative enterprises (European Parliament [EP], 2021). The role of innovation and innovativeness in business is emphasized, among others, in reports by the Ellen MacArthur Foundation (2015). The benefits of increasing the level of innovation in the economy include a higher level of technological development, better material, labor, and energy efficiency.

<sup>1</sup> The 3R Principle means: reduce packaging and waste, reuse what could not be reduced, process raw materials that cannot be reused. All 3R rules are closely related to each other, their order is also important. What cannot be reduced must be reused and ultimately recycled.

Niniejszy artykuł ma charakter przeglądowy. Do jego przygotowania wykorzystano strategiczne dokumenty unijne i krajowe oraz literaturę przedmiotu na temat gospodarki o obiegu zamkniętym w systemach rolno-spożywczych, a także informacje z portali i czasopism branżowych dotyczące wdrażania rozwiązań z zakresu GOZ w przedsiębiorstwach mleczarskich.

### **Możliwości implementacji GOZ w mleczarstwie**

Przejęcie od gospodarki linearnej do gospodarki o obiegu zamkniętym jest procesem złożonym i długotrwałym, wymagającym wdrożenia wielu zmian systemowych na poziomie krajowym, regionalnym i sektorowym oraz zaangażowania znaczących środków technicznych i finansowych. Aby osiągnąć te cele, niezbędne są działania wszystkich uczestników łańcucha żywnościowego, począwszy od produkcji pasz dla bydła, poprzez produkcję mleka, następnie przetwórstwo, dystrybucję, handel, a kończąc na konsumpcji.

Przebieg i efekty tej transformacji są uzależnione w znacznym stopniu od inicjatyw podejmowanych przez przedsiębiorstwa. Kluczowe znaczenie posiada rozwój nowych technologii, procesów i rozwiązań organizacyjnych, za pośrednictwem których są realizowane działania w kierunku GOZ, w tym innowacji i eko-innowacji. Innowacyjność stanowi nieodłączną cechę zrównoważonych modeli biznesowych, które ułatwiają wykreowanie przewagi konkurencyjnej poprzez działania pozytywnie wpływające i/lub redukujące negatywny wpływ na środowisko naturalne i społeczeństwo (Grochowska i Szczepaniak, 2019). Zdolność firm do tworzenia i wdrażania innowacji jest elementem niezbędnym do zamknięcia obiegu. Zasada 3R: Reduce, Reuse, Recycle<sup>1</sup> staje się wyznacznikiem proekologicznej strategii przedsiębiorstw.

Głębokie zmiany, jakich wymaga przejście na gospodarkę o obiegu zamkniętym, mogą mieć miejsce jedynie w warunkach zachęcających do innowacyjności. Ma temu sprzyjać polityka Unii Europejskiej w zakresie wspierania innowacyjnych przedsiębiorstw (European Parliament [EP], 2021). Rola innowacji i innowacyjności w biznesie podkreślana jest m.in. w raportach opracowanych przez Fundację Ellen MacArthur (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Korzyści płynące z podniesienia poziomu innowacyjności gospodarki obejmują wyższy poziom rozwoju technologicznego, lepszą wydajność materiałów, pracy i energii.

<sup>1</sup> Zasada 3R oznacza: redukcję ilości opakowań i odpadów, ponowne używanie tych, których nie udało się zredukować, przetwarzanie surowców, których nie można użyć ponownie. Wszystkie reguły 3R są ze sobą ściśle powiązane, istotna jest także ich kolejność. To, czego nie można zredukować, należy użyć ponownie, a w ostateczności poddać recyklingowi.

Polish dairy industry is characterized by a high level of technological advancement. Over the past several years, it has undergone deep restructuring and modernization, thanks to which it has become one of the most modern sectors of the food economy (Szajner, 2020). The production technologies used in Polish dairies, production automation and IT solutions represent a level appropriate for the Industry 3.0 model, but with only a few elements of Industry 4.0. Therefore, dairy companies are increasingly looking for more advanced solutions in the field of industrial automation and production management in a smart and systemic way. Adaptation to further changes related to the next stage of the industrial revolution, which is marked by Industry 4.0, includes technologies such as: the Internet of Things (IoT), cloud technologies, machine learning, and blockchain (Ada et al., 2021). Machine learning and cloud computing, combined with automation, can be beneficial for both milk producers and processing plants by giving them fully integrated and collaborative systems that respond in real time. Most of them, however, do not use the possibilities offered by digital technologies and advanced (automated) data analysis, which are the key distinguishing features of the Industry 4.0 concept. Digital technologies can enhance innovation, efficiency, and competitiveness of enterprises, and their digitalization can help meet environmental and sustainable development goals. The latter applications are particularly relevant in view of the new requirements set out in the EU's strategies for the European Green Deal, including the Farm to Fork Strategy which directly affects the agri-food sector (Kosior, 2022).

The dairy industry is characterized by a high level of competition between the existing economic entities. This determines the need for continuous improvement of the offer addressed to customers through introducing new dairy products to the market or modifying those already produced. Every enterprise, including dairy enterprises should constantly evaluate its offer and improve it by adding features essential for the consumer or eliminating undesirable or insignificant attributes to function and be successful on the market (Rudnicki, 2012). There are currently two main trends in the dairy industry. The first one is to seek natural products and the second is to reduce the content of certain ingredients, such as lactose, sugar, or salt (Newseria, 2017).

Polskie mleczarstwo charakteryzuje się wysokim poziomem zaawansowania technologicznego. Przeszło ono w minionych kilkunastu latach głęboką restrukturyzację i modernizację, dzięki której stało się jedną z najnowocześniejszych branż gospodarki żywnościowej (Szajner, 2020). Stosowane w polskich mleczarniach technologie produkcyjne, automatyzacja produkcji oraz rozwiązania informatyczne prezentują poziom właściwy dla modelu Przemysłu 3.0, jednak tylko z nielicznymi elementami Przemysłu 4.0. Przedsiębiorstwa mleczarskie coraz częściej poszukują więc bardziej zaawansowanych rozwiązań z zakresu automatyki przemysłowej oraz z obszaru zarządzania produkcją w sposób inteligentny i systemowy. Adaptacja do dalszych zmian związanych z kolejnym etapem rewolucji przemysłowej, który wyznacza Przemysł 4.0, obejmuje takie technologie, jak Internet rzeczy (IoT), technologie chmurowe, uczenie maszynowe czy *blockchain* (technologia łańcucha bloków) (Ada i in., 2021). Uczenie maszynowe i chmura obliczeniowa, w połączeniu z automatyzacją, mogą przynieść korzyści zarówno producentom mleka, jak i zakładom przetwórczym, dając im w pełni zintegrowane i współpracujące systemy, które reagują w czasie rzeczywistym. Większość z nich nie wykorzystuje jednak możliwości oferowanych przez technologie cyfrowe i zaawansowane (zautomatyzowane) analizy danych, które są kluczowym wyróżnikiem koncepcji Przemysłu 4.0. Technologie cyfrowe mogą wzmacniać innowacyjność, efektywność i konkurencyjność przedsiębiorstw, przy czym ich cyfryzacja może pomóc w realizacji celów związanych z ochroną środowiska i zrównoważonym rozwojem. Te ostatnie zastosowania są szczególnie istotne w związku z nowymi wymogami określonymi w unijnych strategiach na rzecz Europejskiego Zielonego Ładu, w tym w strategii „Od pola do stołu”, która bezpośrednio dotyczy sektora rolno-spożywczego (Kosior, 2022).

Przemysł mleczarski charakteryzuje się wysokim poziomem konkurencji pomiędzy istniejącymi podmiotami gospodarczymi. Determinuje to konieczność ciągłego doskonalenia oferty kierowanej do klientów, poprzez wprowadzanie na rynek nowych produktów mlecznych bądź też modyfikowanie dotychczas wytwarzanych. Każde przedsiębiorstwo, w tym również mleczarskie, chcąc funkcjonować i odnosić sukcesy na rynku, powinno dokonywać permanentnej oceny swojej oferty i doskonalić ją przez dodawanie istotnych dla konsumenta cech lub też eliminowanie atrybutów niepożądanych bądź mało istotnych (Rudnicki, 2012). Obecnie w branży mleczarskiej obserwuje się dwa główne trendy. Pierwszy to dążenie do naturalności produktów, a drugi to

According to Babuchowski, there are currently three main areas of innovation in the dairy industry (Wieczorkiewicz, 2018):

1. improving the existing products in terms of health benefits through eliminating any additives from sources other than milk (e.g., stabilizers, preservatives) from their composition;
2. protection of products against microbial contamination (if possible, using bacterial cultures instead of other substances);
3. selecting packaging that could increase product functionality, but also extending its shelf-life and indicating that products are close to their sell-by date.

The current trends in food consumption are highly diversified, however, healthy attitudes and the growing interest in convenience food can be considered the leading ones (Górska, 2022). According to research by Mintel (as cited in Bank Pekao, 2021), a high percentage of Poles would like the food they consume to have better health parameters. Among the respondents, 44% declare that they are trying to eat healthy food most of the time, and 10% – all the time. Health-promoting trends drive the market for organic products, the percentage of which among new food products placed on the Polish market has increased to 19% last year, as compared to 2% ten years ago. At the same time, however, as many as 60% of the respondents admit that high prices are an obstacle to the consumption of organic products. The consumption of plant-based alternatives for animal food is also growing, including dairy products. According to Euromonitor, in 2020 the value of retail sales of plant-based beverages (excluding catering) in Poland increased by 21% year-over-year. At the same time, research by Mintel shows that 16% of the respondents declare a reduction or complete abandonment of animal products consumption within the next 12 months (as cited in Bank Pekao, 2021). The observed growing demand for plant products / plant protein encourages dairies to incorporate plant protein into milk to produce a high-protein, multi-source, functional food product. As a result, some dairy companies began to expand their offer with plant-based dairy products. One example is a product combining lactose-free milk and an oat drink (FOSS, 2020). Plant-based beverage made from pea protein, which is non-allergenic and gluten-free, is another solution. Scientific research results show promising prospects for the use of other plant proteins (soybean, wheat, corn, sunflower) for use in the dairy industry (Krentz et al., 2022).

zmniejszenie zawartości niektórych składników, takich jak laktoza, cukier czy sól (Newseria, 2017).

Według Babuchowskiego można obecnie wskazać trzy główne obszary innowacji w mleczarstwie (Wieczorkiewicz, 2018):

1. ulepszanie istniejących produktów pod względem zdrowotnym, polegające na eliminacji z ich składu jakichkolwiek dodatków pochodzących spoza mleka (np. stabilizatory, konserwanty);
2. ochrona produktów przed zakażeniami mikrobiologicznymi (jeśli to możliwe, to używanie kultur bakterii zamiast innych substancji);
3. dobór opakowań, które mogłyby zwiększać funkcjonalność produktów, ale także przedłużać ich trwałość i wskazywać na zbliżanie się końca przydatności do spożycia.

Aktualne trendy w zakresie konsumpcji żywności są mocno zróżnicowane, jednakże za wiodące można uznać zachowania prozdrowotne oraz rosnące zainteresowanie żywnością wygodną (*convenience*) (Górska, 2022). Jak wynika z badań firmy Mintel (za: Bank Pekao, 2021), wysoki odsetek Polaków deklaruje zainteresowanie poprawą parametrów prozdrowotnych konsumowanej żywności. Spośród badanych respondentów 44% deklaruje, że stara się jeść zdrowo przez większość czasu, a 10% – przez cały czas. Trendy prozdrowotne napędzają rynek produktów ekologicznych, których odsetek wśród nowości spożywczych wprowadzanych na polski rynek wzrósł w ostatnim roku do 19% w porównaniu z 2% dziesięć lat temu. Jednocześnie jednak aż 60% respondentów przyznaje, że wysoka cena jest dla nich barierą dla konsumpcji produktów ekologicznych. Rośnie również konsumpcja roślinnych zamienników żywności odzwierzęcej, w tym produktów nabiałowych. Według Euromonitora w 2020 roku wartość sprzedaży detalicznej napojów roślinnych (bez gastronomii) w Polsce wzrosła o 21% r/r. Jednocześnie z badań firmy Mintel wynika, że 16% respondentów deklaruje ograniczenie lub całkowitą rezygnację ze spożywania produktów odzwierzęcych w ciągu najbliższych 12 miesięcy (za: Bank Pekao, 2021). Obserwowany rosnący popyt na produkty roślinne/ białko roślinne zachęca mleczarnie do włączania białka roślinnego do mleka w celu wytworzenia wysokobiałkowego, wieloźródłowego, funkcjonalnego produktu spożywczego. W związku z tym niektóre firmy mleczarskie zaczęły rozszerzać swoją ofertę o nabiał roślinny. Przykładem może być produkt stanowiący połączenie mleka bez laktozy i napoju owsianego (FOSS, 2020). Innym rozwiązaniem jest napój roślinny produkowany z białka grochu – niealergiczny i bezglutenowy. Wyniki badań naukowych wskazują na obiecujące perspektywy zastosowania innych białek roślinnych



Taking the above into account, it can be concluded that the circular economy, as an innovative development model, requires the involvement of all participants in the food chain at every stage of the product life cycle (Lofthouse & Prendeville, 2017). This is related to business initiative, but also the activity of consumers themselves, who should not only passively follow the signals coming from the economic or political environment (Jastrzębska, 2019). The circular economy introduces a new way of perceiving the relationship between markets, customers, and resources, which can translate into significant changes in the everyday life of every person, therefore the implementation of this concept requires conscious and responsible consumption.

### **Barriers to the Implementation of the Circular Economy in the Dairy Industry**

When discussing the circular economy implementation, it is difficult to ignore numerous barriers that prevent the decision to implement it in the context of the currently dominant business priorities (the requirement of efficiency and striving for maximum profitability).

The barriers to the circular economy implementation in business practice may result from the outdated nature of the market value chain: market behaviors of suppliers and recipients and lack of technical, legal, negotiation, and financial competences, which make even the most conscious entrepreneur not willing to risk losing profitability by introducing changes.

Ada et al. (2021) classified the identified barriers preventing the transition to the circular economy into seven categories:

- cultural (lacking consumer awareness and interest, hesitant company culture, currently operating in a linear system);
- business and business finance (major investment costs, difficulties in obtaining external financing, high cost of receiving recycling product, increased research cost, limited business model applications);
- regulatory and governmental (lack of conducive legal systems, existing loose environmental regulations, taxation and incentives, lack of proper waste infrastructure);
- technological (technical limitations of recycling, lack of eco-efficiency of the technological processes, insufficient use of advanced digital technologies);

(soja, pszenica, kukurydza, słonecznik) do wykorzystania w przemyśle mleczarskim (Krentz i in., 2022).

Biorąc powyższe pod uwagę można skonkludować, że gospodarka o obiegu zamkniętym, jako innowacyjny model rozwoju, wymaga zaangażowania wszystkich uczestników łańcucha żywnościowego na każdym etapie cyklu życia produktu (Lofthouse i Prendeville, 2017). Wiąże się to z inicjatywą po stronie biznesu, lecz także z aktywnością samego konsumenta, który nie powinien tylko biernie podążać za sygnałami płynącymi z otoczenia gospodarczego czy politycznego (Jastrzębska, 2019). GOZ wprowadza nowy sposób patrzenia na relacje między rynkami, klientami i zasobami, który może przełożyć się na znaczące zmiany w codziennym życiu każdego człowieka, dlatego też realizacja tej koncepcji wymaga świadomej i odpowiedzialnej konsumpcji.

### **Bariery implementacji GOZ w mleczarstwie**

Mówiąc o implementacji GOZ, nie sposób ignorować licznych barier, które sprawiają, że decyzja o jej wdrożeniu hamowana jest w obliczu obecnie dominujących priorytetów biznesowych (wymóg efektywności i dążenie do maksymalnej rentowności).

Bariery utrudniające wdrożenie GOZ w praktyce biznesowej mogą wynikać z przestarzałego charakteru łańcucha wartości rynkowej: zachowań rynkowych dostawców i odbiorców oraz braku kompetencji technicznych, prawnych, negocjacyjnych i finansowych, które sprawiają, że nawet najbardziej świadomy przedsiębiorca nie będzie skłonny ryzykować zmian, narażając się na utratę rentowności.

Ada i in. (2021) sklasyfikowali zidentyfikowane bariery uniemożliwiające przejście na GOZ w siedmiu kategoriach:

- kulturowe (brak świadomości i zainteresowania konsumentów, brak zdecydowania ze strony firm, dotychczasowe działanie w modelu liniowym);
- biznesowe i finansowe (wysokie koszty inwestycji, trudności w pozyskiwaniu finansowania zewnętrznego, wysokie obciążenie producentów kosztami recyklingu, zwiększone nakłady na badania i rozwój, ograniczenia wynikające ze stosowanego modelu biznesowego);
- regulacyjne i rządowe (brak skutecznych regulacji prawnych, zbyt luźne przepisy środowiskowe, ograniczone zachęty publiczne, brak odpowiedniej infrastruktury gospodarowania odpadami);
- technologiczne (ograniczenia technologiczne recyklingu, brak efektywności procesów technologicznych, niewystarczające zastosowanie zaawansowanych technologii cyfrowych);

- managerial (poor leadership, missing information exchange, lack of collaboration, higher priority of other issues);
  - supply chain management (lack of eco-literacy among supply chain partners, failure of collaboration between partners in the supply chain);
  - knowledge and skills (insufficient knowledge about the circular economy or lack of it).
- menadżerskie (słabość przywództwa, nieprawidłowa wymiana informacji, brak współpracy, wyższy priorytet innych spraw);
  - zarządzanie łańcuchem dostaw (brak świadomości ekologicznej wśród partnerów łańcucha dostaw, niepowodzenia we współpracy między partnerami w łańcuchu dostaw);
  - wiedza i umiejętności (niewystarczająca wiedza na temat GOZ lub jej brak).

Many studies (including De Jesus & Mendonça, 2018; Fedotkina et al., 2019; Hart et al., 2019; Rizos et al., 2016) emphasize that technological issues are the main barrier to transformation towards the circular economy.

Implementing the principles of the circular economy concept is associated with high costs, especially at the stage of investment implementation. High costs of innovation and business models of the circular economy and no access to financing sources require special measures in public financing. Especially in the case of environmental investments, the absorption barrier is limited access to knowledge, advice, government support, and specific incentives (providing financing, training system, tax policy, etc.). There are also inconsistencies in policy and regulations that make it difficult for the enterprise sector to switch to the circular economy model (Kulczycka, 2019). Legislative activities are a significant part of the Polish path towards the circular economy, the effect of which is establishing an appropriate legal framework. More important legal acts supporting transformation towards the circular economy include the act on energy efficiency, the act introducing the recycling fee, and the regulation on a standardized model of municipal waste segregation. In 2019, the Council of Ministers approved the road map (Ministry of Development and Technology, 2019) aimed at identifying measures to increase resource efficiency and reduce waste generation. Stressing that the circular economy is rational, low-emission, innovative, and competitive, the document covers a very wide range of activities, comprehensively proposing tools for the transition from a linear economy to the circular economy.

W wielu opracowaniach (m.in. De Jesus i Mendonça, 2018; Fedotkina i in., 2019; Hart i in., 2019; Rizos i in., 2016) podkreślane jest jednak, że główną barierą w dążeniu do transformacji w kierunku GOZ są kwestie technologiczne.

Wdrażanie w życie zasad koncepcji GOZ wiąże się z dużymi kosztami, zwłaszcza na etapie realizacji inwestycji. Wysokie koszty innowacji i modeli biznesowych GOZ oraz brak dostępu do źródeł finansowania wymaga podjęcia szczególnych działań w obszarze finansowania publicznego. Szczególnie w przypadku inwestycji środowiskowych barierą absorpcji jest niewielki dostęp do wiedzy, doradztwa, wsparcia rządowego i konkretnych zachęt (zapewnienie finansowania, system szkoleń, polityka podatkowa itp.). Występują również niespójności w zakresie polityki i przepisów, które utrudniają sektorowi przedsiębiorstw przestawienie się na model GOZ (Kulczycka, 2019). Ważną częścią na polskiej drodze w kierunku GOZ są działania legislacyjne, których efektem jest stworzenie odpowiednich ram prawnych. Do ważniejszych aktów prawnych wspomagających transformację w kierunku GOZ można zakwalifikować ustawę dotyczącą efektywności energetycznej, ustawę wprowadzającą opłatę recyklingową oraz rozporządzenie w sprawie ujednoliconego modelu segregowania odpadów komunalnych. W 2019 roku Rada Ministrów zaakceptowała mapę drogową (Ministerstwo Rozwoju i Technologii, 2019), mającą na celu identyfikację działań na rzecz zwiększenia wydajności wykorzystania zasobów i ograniczenia powstawania odpadów. Podkreślając, że GOZ jest racjonalna, niskoemisyjna, innowacyjna i konkurencyjna, dokument ten obejmuje bardzo szeroki zakres działań, w sposób kompleksowy proponujących narzędzia służące przejściu od gospodarki linearnej do gospodarki o obiegu zamkniętym.

### **Examples of the Circular Economy Rules Implementation in the Dairy Industry**

Among the activities conducive to the transformation of dairy enterprises towards the circular economy, there are solutions consisting in, inter alia: waste prevention, direct use of by-products, use of renewable energy sources (in heating and cooling systems),

### **Przykłady wdrażania zasad GOZ w mleczarstwie**

Wśród działań sprzyjających transformacji przedsiębiorstw mleczarskich w kierunku GOZ można wymienić rozwiązania polegające m.in. na: zapobieganiu powstawaniu odpadów, bezpośrednim wykorzystywaniu produktów ubocznych, korzystaniu

reduction of consumption and re-use of water, use of ecological packaging, or using ecological means of transport. Examples of the circular economy implementation in dairies are presented below.

The dairy industry generates significant amounts of production waste and by-products such as: whey, buttermilk, skimmed milk, milk residues, cheese, cream, and butter residues, expired dairy products, milk from returns, etc. (Usmani et al., 2022). According to the EU waste management hierarchy, waste prevention and re-use are the highest priority activities in the context of their rational management (Bukowski, 2018). Waste prevention is the most effective method of increasing resource efficiency and reducing environmental impact of waste. However, complete elimination of waste in the dairy industry is difficult. Hence, major attention should be paid to possibilities of reducing and reusing production waste (transforming it into new products). Literature on the subject indicates numerous ways of using dairy waste to produce various value-added products. They can be used for the production of functional drinks (Lawton et al., 2021), bioplastics (Tripathi et al., 2021), biochemicals (Asunis et al., 2019), biocatalysts (Bhusari et al., 2021), unicellular proteins (Gour et al., 2017), organic acids (Marcus et al., 2021; Qin et al., 2021), microbial fuel cells (Ahmad et al., 2019), biodiesel (Kavitha et al., 2019), bioenergy (Asunis et al., 2020), ethanol (Zheng et al., 2022), biofuel (Choudhary et al., 2021), biohydrogen (Ayil-Gutiérrez et al., 2021), organic fertilizer (Alharbi et al., 2021).

An interesting example is whey, the main by-product of milk processing. Until recently, it was a troublesome waste for producers, used for feed, or wastewater harmful to the environment, requiring treatment. The development of the technology of thickening with the use of membrane techniques and the processing of whey, enabling profitable use of valuable whey proteins and other ingredients (mainly lactose), has made whey a valuable raw material allowing for the use of its ingredients (Seremak-Bulge et al., 2015). Whey can be processed into edible products (e.g., fermented whey drinks) or used for non-food purposes. It can also be used in the production of ethyl alcohol, which is used in the food, chemical, pharmaceutical, and cosmetic industries, as well as for obtaining yeast-protein biomass and fermentation aids in the production of antibiotics, fuels, single-cell proteins (Sokołowska, 2019).

The processing of sewage sludge from the dairy industry into an organic calcium fertilizer is a particularly noteworthy solution, since it is a source of valuable substances that improve soil fertility. Sludge from the dairy industry is rich in organic substances, which in turn justifies its use in the form of a complete

z odnawialnych źródeł energii (w systemach ogrzewania i chłodzenia), ograniczeniu zużycia oraz ponownemu wykorzystaniu wody, stosowaniu ekologicznych opakowań, czy wykorzystaniu ekologicznych środków transportu. Poniżej przedstawiono przykłady implementacji GOZ w mleczarniach.

Przemysł mleczarski generuje znaczące ilości odpadów produkcyjnych i produktów ubocznych, takich jak: serwatka, maślanka, mleko odtłuszczone, zlewki mleka, resztki sera, śmietany i masła, przeterminowane produkty mleczne, mleko ze zwrotów itp. (Usmani i in., 2022). Zgodnie z unijną hierarchią postępowania z odpadami zapobieganie powstawaniu odpadów oraz ich ponowne użycie to działania o najwyższym priorytecie w kontekście ich racjonalnego zagospodarowania (Bukowski, 2018). Zapobieganie powstawaniu odpadów jest najskuteczniejszą metodą zwiększania wydajności zasobów oraz ograniczania wpływu odpadów na środowisko. Całkowita eliminacja odpadów w przemyśle mleczarskim jest jednak trudna. Stąd też główną uwagę należy poświęcić możliwościom redukcji oraz ponownemu wykorzystaniu odpadów produkcyjnych (ich przekształcaniu w nowe produkty). W literaturze przedmiotu wskazuje się liczne sposoby wykorzystywania odpadów mleczarskich do produkcji różnych produktów o wartości dodanej. Można je wykorzystać do produkcji napojów funkcjonalnych (Lawton i in., 2021), bioplasticów (Tripathi i in., 2021), biochemikaliów (Asunis i in., 2019), biokatalizatorów (Bhusari i in., 2021), białek jednokomórkowych (Gour i in., 2017), kwasów organicznych (Marcus i in., 2021; Qin i in., 2021), mikrobiologicznych ogniwi paliwowych (Ahmad i in., 2019), biodiesla (Kavitha i in., 2019), bioenergii (Asunis i in., 2020), etanolu (Zheng i in., 2022), biopaliwa (Choudhary i in., 2021), biowodoru (Ayil-Gutiérrez i in., 2021), nawozu organicznego (Alharbi i in., 2021).

Ciekawym przykładem jest serwatka, główny produkt uboczny powstający podczas przerobu mleka. Do niedawna stanowiła dla producentów kłopotliwy odpad wykorzystywany na pasze lub uciążliwy dla środowiska ściek wymagający oczyszczenia. Rozwój technologii zagęszczania z wykorzystaniem technik membranowych i przerobu serwatki pozwalający na opłacalne wykorzystywanie cennych białek serwatkowych oraz innych składników (głównie laktozy) spowodował, że serwatka stała się cennym surowcem umożliwiającym wykorzystanie składników w niej zawartych (Seremak-Bulge i in., 2015). Serwatkę można przetwarzać na wyroby jadalne (np. fermentowane napoje serwatkowe) bądź też wykorzystywać na cele nieżywnościowe. Stosowana może być także w produkcji alkoholu etylowego, który ma zastosowanie w przemyśle spożywczym, chemicznym, farmaceutycznym oraz kosmetycznym,

fertilizer that will ensure the proper development of plants (Alharbi et al., 2021). However, in many countries it is not considered a safe method of sludge hygienization.

If it is not possible to manage waste in another way, it is allowed to subject it to energy recovery processes, both heat and electricity. Waste-to-energy operations include the incineration and co-incineration of waste with high energy efficiency, and the transformation of waste into solid, liquid, or gaseous fuels. Energy recovery from waste is not entirely consistent with the idea of the circular economy, as the raw material potential in waste is wasted, it is irretrievably lost during processing, but is often the only alternative to waste disposal, for example in landfills. The literature on the subject provides many examples of the reuse of dairy waste as a raw material to produce bioenergy: biodiesel (Kavitha et al., 2019), biomethane, biohydrogen, microbial fuel cells (Kumar Awasthi et al., 2022). High utility of wastewater and waste from the dairy industry in terms of producing bioenergy is due to the content of easily degradable organic pollutants, high content of water and microelements necessary for the development of microorganisms.

Anaerobic digestion of sewage sludge is the key element of the circular economy in the dairy industry (Wojdalski et al., 2021). In addition to anaerobic digestion, various integrated (bioelectrochemical) technologies have emerged to treat dairy waste to produce value-added products, among others, biohydrogen (Adesra et al., 2021). The use of wastewater as a substrate used to produce biohydrogen with simultaneous wastewater treatment is an attractive and effective way of generating clean energy from renewable resources (da Silva et al., 2019). It provides dual environmental benefits towards wastewater treatment along with sustainable production of bioenergy (Usmani et al., 2022). Dairy wastewater treatment also minimizes the amount of production waste (Krajewski et al., 2016). In dairy companies, biogas is a central element of energy production, and upgrading it to the form of biomethane (fuel) makes that it is used as a vehicle fuel (Blades et al., 2017). Importantly, biomethane has a lower carbon footprint compared to natural gas.

The use of dairy wastewater as an economically efficient (i.e., cheap) organic source to produce biodiesel from microalgae (Brar et al., 2019) is one of the more recent proposals. The potential of dairy wastewater to produce biodiesel was studied at the Italian dairy Azienda Casaria Capurso in Apulia, specialized in the production of mozzarella and ricotta cheese (Gramegna et al., 2020). The disposal and discharge of dairy wastewater to municipal wastewater system

a także do uzyskania biomasy drożdżowo-białkowej oraz środków wspomagających fermentację w produkcji antybiotyków, paliw, białek organizmów jednokomórkowych (ang. *single-cell proteins* – SCP) (Sokołowska, 2019).

Rozwiązaniem szczególnie zasługującym na uwagę jest przetwarzanie osadów ściekowych z przemysłu mleczarskiego na nawóz organiczno-wapniowy, będący źródłem cennych substancji poprawiających żyzność gleby. Osady z przemysłu mleczarskiego są bogate w substancje organiczne, a to z kolei uzasadnia ich wykorzystywanie w postaci pełnowartościowego nawozu, który zapewni prawidłowy rozwój roślin (Alharbi i in., 2021). W wielu krajach nie jest to jednak uznawane za bezpieczną metodę higienizacji osadów.

W przypadku, gdy nie jest możliwe inne zagospodarowanie odpadów, dopuszcza się poddanie ich procesom odzysku energii, zarówno cieplnej, jak i elektrycznej. Do operacji przetwarzania odpadów w energię zalicza się procesy spalania i współspalania odpadów o wysokiej efektywności energetycznej oraz procesy przetwarzania odpadów w paliwa stałe, ciekłe lub gazowe. Odzysk energii z odpadów nie jest całkowicie zgodny z ideą GOZ, ponieważ marnuje się potencjał surowcowy znajdujący się w odpadach, który w trakcie przetwarzania jest bezpowrotnie tracony, jednak stanowi często jedyną alternatywę dla unieszkodliwiania odpadów, na przykład na składowiskach. Literatura przedmiotu dostarcza wielu przykładów ponownego wykorzystania odpadów mleczarskich jako surowca do produkcji bioenergii: biodiesla (Kavitha i in., 2019), biometanu, biowodoru, mikrobiologicznych ogniw paliwowych (Kumar Awasthi i in., 2022). Wysoka przydatność ścieków i odpadów z przemysłu mleczarskiego do produkcji bioenergii wynika z zawartości w ich składzie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych, wysokiej zawartości wody oraz mikroelementów niezbędnych do rozwoju mikroorganizmów.

Kluczowy element GOZ w przemyśle mleczarskim stanowi fermentacja beztlenowa osadów ściekowych (Wojdalski i in., 2021). W uzupełnieniu do fermentacji beztlenowej, pojawiły się różne zintegrowane (bioelektrochemiczne) technologie przetwarzania odpadów mleczarskich w celu wytworzenia produktów o wartości dodanej, m.in. biowodoru (Adesra i in., 2021). Wykorzystanie ścieków jako substratu do produkcji biowodoru z jednoczesnym oczyszczaniem ścieków jest atrakcyjnym i skutecznym sposobem pozyskiwania czystej energii z zasobów odnawialnych (da Silva i in., 2019). Zapewnia to podwójne korzyści środowiskowe w kierunku oczyszczania ścieków wraz ze zrównoważonym wytwarzaniem bioenergii

is costly, therefore its alternative management is of key importance for the economic and environmental sustainability of dairies. The cultivation of microalgae with the use of dairy waste in a photobioreactor enables the production of biomass for various industrial applications, not only the production of biofuels, but also the production of bioproducts used in cosmetics, drugs, and health supplements, and animal feed (Gramegna et al., 2020).

Energy efficiency is the key issue for food industry companies. Electricity costs have a key impact on the profitability of enterprises, especially large companies. Therefore, dairy enterprises take measures to increase the use of such energy sources that have a lower negative impact on the environment (e.g., electricity generated from renewable energy sources). The activities, mainly motivated by economic issues, at the same time help to implement one of the principles of the circular economy, which involves abandoning the use of non-renewable raw materials and developing processes and technologies that are based on renewable resources to the greatest extent.

Conducting energy audits consisting in the analysis of the current consumption and identification of areas where the greatest amount of electricity and heat is consumed, and where it is also possible to reduce the consumption, should be the basis for optimizing energy consumption in a production company (dairy). For this purpose, it is possible to consider modernizing systems and implementing water and/or heat recovery systems, which will let users reduce amounts of raw materials. The use of renewable energy sources (e.g., biogas produced in wastewater treatment using anaerobic technology or biomass boilers) allows to reduce the emission of harmful substances, and together with energy management systems enables effective energy management implementation in enterprises.

The activities carried out by Veolia (n.d.) at the OSM Włoszczowa plant can be a good example. The first stage involved modernizing the in-house steam boiler room, which contributed to the reduction of solid fuel consumption and optimized steam production and distribution. In the second stage, the cooling system was modernized, two existing systems were separated, an intermediate exchanger was used in the event of a failure, and as a result, higher efficiency of the cooling equipment was achieved. Thanks to the modernization and proper management, the plant increased the energy production efficiency by 20%, lowered production costs, reached a higher safety level in terms of constant steam and cooling supplies, and reduced dust emissions from 400 to less than 100 mg/m<sup>3</sup>.

(Usmani i in., 2022). Ponadto oczyszczanie ścieków mleczarskich minimalizuje ilość odpadów produkcyjnych (Krajewski i in., 2016). W firmach mleczarskich biogaz stanowi centralny element produkcji energii, zaś ulepszenie go do postaci biometanu (paliwa) powoduje, że jest wykorzystywany jako napęd pojazdów (Blades i in., 2017). Co istotne, biometan charakteryzuje się mniejszym śladem węglowym w porównaniu z gazem ziemnym.

Jedną z nowszych propozycji jest wykorzystanie ścieków mleczarskich jako wydajnego ekonomicznie (tj. taniego) źródła organicznego do produkcji biodiesla z mikroalg (Brar i in., 2019). Potencjał ścieków mleczarskich do produkcji biodiesla został zbadany we włoskiej mleczarni Azienda Casearia Capurso w Apulii, specjalizującej się w produkcji sera mozzarella i ricotta (Gramegna i in., 2020). Utylizacja oraz odprowadzanie ścieków mleczarskich do kanalizacji miejskiej jest kosztowne, dlatego ich alternatywne zagospodarowanie ma kluczowe znaczenie dla zrównowazenia ekonomicznego i środowiskowego mleczarni. Hodowla mikroalg z wykorzystaniem odpadów mleczarskich w fotobioreaktorze daje możliwość produkcji biomasy do różnych zastosowań przemysłowych, nie tylko wytwarzania biopaliw, ale także produkcji bioproduktów stosowanych w kosmetykach, lekach i suplementach zdrowotnych oraz paszach dla zwierząt (Gramegna i in., 2020).

Kluczową kwestią dla przedsiębiorstw przemysłu spożywczego jest efektywność energetyczna. Koszty energii elektrycznej mają istotny wpływ na rentowność przedsiębiorstw, w szczególności dużych firm. Przedsiębiorstwa mleczarskie podejmują więc działania mające zwiększyć poziom wykorzystania takich źródeł energii, które mają mniejszy negatywny wpływ na środowisko (np. energia elektryczna wytwarzana z odnawialnych źródeł energii). Działania te, motywowane głównie kwestiami ekonomicznymi, jednocześnie pomagają w realizacji jednej z zasad GOZ zakładającej odejście od wykorzystywania nieodnawialnych surowców oraz rozwijanie procesów i technologii, które w jak największej mierze bazują na zasobach odnawialnych.

Podstawą optymalizacji zużycia energii w przedsiębiorstwie produkcyjnym (mleczarni) powinno być przeprowadzenie audytu energetycznego polegającego na analizie obecnego zużycia i identyfikacji obszarów, w których zużywana jest największa ilość energii elektrycznej oraz ciepła, a także możliwe jest zmniejszenie tego zużycia. W tym celu można rozważyć modernizację instalacji oraz wdrożenie systemów odzysku wody i/lub ciepła, które pozwolą na zmniejszenie ilości wykorzystywanych surowców. Zastosowanie odnawialnych źródeł energii

Implementing a biomass combustion system to generate steam for cheese production (pasteurization and drying) (Veolia, n.d.) is an example of good practice in improving energy efficiency in a milk processing plant. It is an innovative, highly efficient, and cost-effective solution, based on proven technology, thanks to which 90% of the supplied steam comes from renewable energy sources. The way to optimally use raw materials for energy production is to use a cogeneration unit, consisting in the simultaneous generation of electricity and heat, while maintaining the same amount of fuel as in separate production. Veolia offered such a solution to a Nestle factory in Portugal. The applied solution made it possible to adjust the production of electricity and heat to the needs of the production process, reduce the costs of energy production, and reduce the negative impact on the environment by reducing CO<sub>2</sub> emissions by 5,000 tons per year (Veolia, n.d.).

Among the challenges related to the implementation of the circular economy in the dairy industry is the implementation of eco-friendly solutions in packaging management. The dairy industry uses a very wide range of packaging, including multilayer cardboard packaging, cardboard packaging, plastic-coated paper packaging, plastic packaging (PET, LDPE, HDPE), hard plastic PS (polystyrene) packaging, packaging made of rigid paper, coated with plastics, foil packaging, and glass packaging (Górska, 2017). In the European Union, dairy products are currently packed mainly in polypropylene (PP) or polystyrene (PS) packaging, which, according to the European Food Safety Authority (EFSA), cannot be reprocessed into recycled material intended to be brought in contact with food (KF Technologie, n.d.). The processing of the materials should therefore be treated as the so-called downcycling (i.e., processing waste materials into new materials or products of lower quality and reduced functionality) rather than recycling. The most important problem related to the use of plastic packaging is its long-term degradation in the environment (from 100 to even 500 years).

Technological progress related to creating lines for packaging dairy products, as well as the demanding consumer market of food products, pose several challenges for manufacturers of dairy packaging. Undoubtedly, the greatest one is their eco-friendly features, which is the main trend in the directions of packaging development (Wyszowska & Ankiwicz, 2013). The solutions in the circular economy model include the use of single-material plastic packaging that can be recycled and reused, or packaging made of 100% recyclates, i.e., recycled raw materials (e.g., from PET bottles), which are fully recyclable after use.

(np. biogazu wytworzonego przy oczyszczaniu ścieków z wykorzystaniem technologii beztlenowej lub kotłów na biomase) pozwala na zmniejszenie emisji szkodliwych substancji, a wraz z systemami zarządzania energią umożliwia wdrożenie efektywnej gospodarki energetycznej przedsiębiorstwa.

Dobrym przykładem są działania przeprowadzone przez Veolię (b.d.) w zakładzie OSM Włoszczowa. Pierwszy etap obejmował modernizację zakładowej kotłowni parowej, która przyczyniła się do obniżenia zużycia paliwa stałego oraz optymalizacji produkcji i dystrybucji pary. W drugim etapie zmodernizowano instalację chłodniczą, rozdzielono dwie istniejące instalacje, zastosowano pośredni wymiennik na wypadek awarii, a w rezultacie uzyskano wyższą sprawność urządzeń chłodniczych. Dzięki modernizacji i odpowiedniemu zarządzaniu zakład zwiększył sprawność wytwarzania energii o 20%, obniżył koszty produkcji, uzyskał wyższy stopień bezpieczeństwa w kwestii stałych dostaw pary i chłodu, a ponadto obniżył emisję pyłów z 400 do mniej niż 100 mg/m<sup>3</sup>.

Przykładem dobrej praktyki w zakresie poprawy efektywności energetycznej w zakładzie przetwórstwa mleka jest wdrożenie systemu spalania biomasy, służącego do wytwarzania pary na potrzeby produkcji sera (etapy pasteryzacji i suszenia) (Veolia, b.d.). Jest to innowacyjne, wysoko wydajne i efektywne kosztowo rozwiązanie, oparte na sprawdzonej technologii, dzięki której 90% dostarczanej pary pochodzi z odnawialnych źródeł energii. Sposobem na optymalne wykorzystanie surowców do produkcji energii jest zastosowanie jednostki kogeneracyjnej, polegające na jednoczesnym wytwarzaniu energii elektrycznej i ciepła, przy zachowaniu takiej samej ilości paliwa co w produkcji rozdzielnej. Takie rozwiązanie Veolia zaoferowała fabryce Nestle w Portugalii. Zastosowane rozwiązanie pozwoliło na dostosowanie produkcji energii elektrycznej i ciepła do potrzeb procesu produkcyjnego, obniżenie kosztów produkcji energii oraz zmniejszenie negatywnego oddziaływania na środowisko poprzez redukcję emisji CO<sub>2</sub> o 5 tys. ton rocznie (Veolia, b.d.).

Wśród wyzwań związanych z wdrażaniem GOZ w mleczarstwie znajduje się wdrożenie rozwiązań proekologicznych w gospodarowaniu opakowaniami. W mleczarstwie stosuje się bardzo szeroką gamę opakowań, w tym m.in.: opakowania kartonowe wielowarstwowe, opakowania tekturowe, opakowania papierowe powlekane tworzywami sztucznymi, opakowania z tworzyw sztucznych (PET, LDPE, HDPE), opakowania z twardego plastiku PS (polistyrenu), opakowania ze sztywnego papieru, powlekanego tworzywami sztucznymi, opakowania foliowe oraz opakowania szklane (Górska, 2017). Na obszarze

The use of biopolymers from various natural sources, such as: starch, cellulose, furcellaran, chitosan, and proteins of plant and animal origin is a promising solution. They can be used in the production of cheese packaging. The renewability and possible biodegradation of biopolymers are their significant properties. Biopolymers also play an important role in food preservation due to their antioxidant and antimicrobial properties (Janik & Kulawik, 2022).

Due to their instability and biological activity, dairy products require the use of packaging that will ensure high quality of the packed product as well as durability and safety during transport, storage, and sale. Along with the growing environmental awareness of consumers and a very clear trend related to a healthy lifestyle, the demand for dairy products in glass packaging is increasing (MleczarnieOnline.pl, 2018). One of the forms of implementing it is a return to the daily direct milk-to-door deliveries in glass bottles (Wiadomości Handlowe, 2018). On the other hand, the offer of one of the organic food stores in Gdansk includes fresh milk in glass bottle, for which a refundable deposit must be paid (Wołoszyn, 2019). Consumers associate glass packaging with the freshness of milk. The results of a survey commissioned by Owens-Illinois and Robico show that 54% of the respondents chose glass as the best packaging for fresh milk, 23% chose cardboard packaging, and 15% of the respondents chose plastic packaging. The advantage of using glass packaging for dairy products is the preservation of nutritional value and the possibility of recycling the packaging multiple times (Wiadomości Handlowe, 2018).

The use of a food foil containing silver nanoparticles for packaging food products (e.g., cheese) is an example of a packaging innovation (Kozłowski et al., 2016). The use of silver nanoparticles as an additive in the production of foil prevents microbiological contamination of the product, but also allows to extend its shelf-life (by inhibiting the growth of microorganisms) and reduce financial losses resulting from organoleptic changes due to the development of microorganisms.

In conclusion, ecological responsibility is one of the priorities of the dairy industry entities, whose multi-directional activities contribute to the transformation towards the circular economy and thus respond to the needs of the environment regarding care for the natural environment. Thanks to their involvement in research and innovative activities in the field of waste prevention, the use of by-products and renewable energy sources, the reduction of water consumption and water reuse, and the use of eco-friendly packaging, the industry can meet the challenges.

Unii Europejskiej produkty mleczarskie są obecnie pakowane głównie w opakowania z polipropylenu (PP) lub polistyrenu (PS), które według Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (ang. *European Food Safety Authority* – EFSA) nie mogą być ponownie przetwarzane na materiał pochodzący z recyklingu przeznaczony do kontaktu z żywnością (KF Technologie, b.d.). Przetwarzanie tych materiałów należy zatem traktować raczej jako tzw. *downcycling* (tj. przetwarzanie materiałów odpadowych w nowe materiały lub produkty o mniejszej jakości i zmniejszonej funkcjonalności) aniżeli recykling. Najważniejszym problemem związanym ze stosowaniem opakowań z tworzyw sztucznych jest długotrwały ich rozkład w środowisku (od 100 do nawet 500 lat).

Postęp technologiczny w zakresie tworzenia linii pakujących produkty mleczarskie, jak również wymagający rynek konsumenta produktów spożywczych, stawiają przed producentami opakowań produktów mleczarskich szereg wyzwań. Bez wątplenia największym jest ich proekologiczny charakter, który stanowi główny trend w kierunkach rozwoju opakowań (Wyszkowska i Ankiwicz, 2013). Do rozwiązań mieszczących się w modelu GOZ należy wykorzystanie: opakowań jednomateriałowych z tworzyw sztucznych, które nadają się do recyklingu i dalszego wielokrotnego użycia lub opakowań wyprodukowanych w 100% z recyklatów, tj. surowców pochodzących z recyklingu (np. z płatków po butelkach PET), które po użyciu w pełni nadają się do późniejszego recyklingu.

Obiecującym rozwiązaniem jest wykorzystanie biopolimerów pochodzących z różnych źródeł naturalnych, takich jak: skrobia, celuloza, furcellaran, chitozan oraz białka pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Mogą one znaleźć zastosowanie w produkcji opakowań serów. Istotnymi właściwościami biopolimerów jest ich odnawialność oraz możliwość biodegradacji. Ponadto biopolimery odgrywają ważną rolę w konserwacji żywności ze względu na ich działanie przeciwutleniające i przeciwdrobnoustrojowe (Janik i Kulawik, 2022).

Przetwory mleczne, ze względu na swoją nietrwałość i aktywność biologiczną, wymagają zastosowania opakowań, które zapewnią wysoką jakość zapakowanego produktu oraz trwałość i bezpieczeństwo podczas transportu, magazynowania i sprzedaży. Wraz z rosnącą świadomością ekologiczną konsumentów i bardzo wyraźnym trendem związanym ze zdrowym stylem życia zwiększa się popyt na produkty mleczne w szklanych opakowaniach (MleczarnieOnline.pl, 2018). Jedną z form jego realizacji jest powrót do codziennej dostawy mleka w opakowaniach szklanych bezpośrednio pod drzwi mieszkańców (Wiadomości

Handlowe, 2018). Z kolei w ofercie jednego z gdańskich sklepów z żywnością ekologiczną znalazło się świeże mleko w szklanej butelce, za którą należy zapłacić kaucję zwrotną (Wołoszyn, 2019). Opakowania szklane kojarzą się konsumentom ze świeżością mleka. Wyniki badania zleconego przez firmy Owens-Illinois i Robico wskazują, że 54% respondentów wybrało szkło jako najlepszy materiał na opakowanie świeżego mleka, 23% wskazało opakowanie kartonowe, zaś 15% respondentów wybrało opakowanie plastikowe. Korzyścią z zastosowania szklanych opakowań dla produktów mlecznych jest zachowanie ich wartości odżywczych, a także możliwość wielokrotnego poddawania tych opakowań recyklingowi (Wiadomości Handlowe, 2018).

Przykładem innowacji opakowaniowej jest zastosowanie folii spożywczej zawierającej nanocząstki srebra do pakowania produktów spożywczych (np. serów) (Kozłowski i in., 2016). Zastosowanie nanocząstek srebra, jako dodatku do produkcji folii, zapobiega skażeniom mikrobiologicznym produktu, ale również pozwala wydłużyć czas przydatności do spożycia (poprzez hamowanie rozwoju drobnoustrojów) oraz ograniczyć straty finansowe wynikające ze zmian organoleptycznych zachodzących na skutek rozwoju mikroorganizmów.

Reasumując, odpowiedzialność ekologiczna jest jednym z priorytetów działania podmiotów branży mleczarskiej, które swoimi wielokierunkowymi działaniami włączają się w transformację w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym i odpowiadają tym samym na potrzeby otoczenia, dotyczące dbałości o środowisko naturalne. Dzięki zaangażowaniu w prace badawcze i działalność innowacyjną w obszarze zapobiegania powstawaniu odpadów, wykorzystywania produktów ubocznych, korzystania z odnawialnych źródeł energii, ograniczenia zużycia oraz ponownego wykorzystania wody, czy stosowania ekologicznych opakowań, branża jest w stanie sprostać stawianym przed nią wyzwaniom.

## Conclusions

In contrast to the linear economy model, in which goods are produced, used, and then discarded as waste, the circular economy strives after a closed business model, i.e., one in which products can be used multilaterally and raw materials and materials can be processed in subsequent manufacturing processes. As a result of closing the loop of technological processes, water, and energy consumption, as well as pollutant emissions are reduced, and the excessive generation of waste is reduced at all stages of the production chain.

## Wnioski

W przeciwieństwie do modelu gospodarki linearnej, w której dobra są produkowane, użytkowane, a następnie wyrzucane jako odpady, gospodarka cyrkularna dąży do zamkniętego modelu działalności gospodarczej, czyli takiego, w którym produkty mogą być wielostronnie wykorzystywane, a surowce i materiały mogą być przetwarzane w kolejnych procesach wytwórczych. W wyniku zamknięcia pętli procesów technologicznych zmniejsza się zużycie wody i energii oraz emisja zanieczyszczeń, a także następuje ograniczenie nadmiernego generowania odpadów na wszystkich etapach łańcucha produkcyjnego.



The food processing sector shows great potential for implementing the circular economy model, as its core business is the processing of renewable biological raw materials into food, feed, materials, and energy. By-products and biological waste, on the other hand, can be used as feed and energy raw materials, as well as organic fertilizers. Dairy is one of the most important industries in this sector. The observed dynamic development of the dairy industry, resulting in an increase in water consumption and the amount of wastewater discharged, as well as an increase in waste production, makes it necessary to implement innovative solutions in dairy industry companies limiting their negative impact on the environment. Closing the energy and material loops can be such a solution, aimed at increasing the efficiency of resource use, and limiting the generation of wastewater and waste.

Transformation of the dairy industry towards the circular economy is a complex and long-term process, taking place under the influence of various stimulating and limiting factors. It requires the implementation of systemic changes at the national, regional, and sectoral level, as well as significant financial and technical resources. It is also necessary for all participants of the food chain to collaborate, from the production of feed for cattle, through milk production, processing, distribution, and trade, to consumption. However, adaptation investments in the field of innovative technologies, energy systems, and water and wastewater management, as well as organizational changes, which constitute the basis for the implementation of the circular economy model, are of key importance. It is also significant to involve consumers themselves in the process.

When implementing the circular economy concept, some obstacles may occur, which can hinder or delay the process. The need to carry out profound modernization and structural changes in the sector will require large investments in innovative activities, which companies will not be able to finance themselves. It will be necessary to support the activities from external sources, including financing with public funds. In the case of environmental investments, limited access to knowledge, counseling, government support, training, and an incentive system is also the absorption barrier. There are also inconsistencies concerning legal provisions that make enterprises' smooth transition to the circular economy model more difficult.

Despite the obstacles, business practice and the trade press do not lack examples of implementing various circular economy solutions in the food processing sector, including the dairy industry. First,

Sektor przetwórstwa spożywczego wykazuje duże możliwości wdrożenia modelu gospodarki o obiegu zamkniętym, gdyż podstawą jego działalności jest przetwórstwo odnawialnych surowców biologicznych na żywność, pasze, materiały i energię. Produkty uboczne i biologiczne odpady mogą być natomiast wykorzystywane jako surowce paszowe i energetyczne, a także jako nawozy organiczne. Jedną z ważniejszych branż w tym sektorze jest mleczarstwo. Obserwowany dynamiczny rozwój branży mleczarskiej, skutkujący wzrostem zużycia wody i ilości odprowadzanych ścieków oraz zwiększeniem produkcji odpadów, powoduje konieczność wdrażania w przedsiębiorstwach przemysłu mleczarskiego innowacyjnych rozwiązań ograniczających ich negatywny wpływ na środowisko. Takim rozwiązaniem, służącym zwiększeniu efektywności wykorzystania zasobów, ograniczeniu ilości wytwarzanych ścieków i odpadów może być zamykanie pętli energetycznych i materiałowych.

Proces transformacji mleczarstwa w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym jest procesem złożonym i długotrwałym, przebiega w warunkach oddziaływania różnych czynników stymulujących oraz ograniczających. Wymaga wdrożenia zmian systemowych na poziomie krajowym, regionalnym i sektorowym oraz zaangażowania znaczących środków finansowych i technicznych. Niezbędne jest także współdziałanie wszystkich uczestników łańcucha żywnościowego, począwszy od produkcji pasz dla bydła, poprzez produkcję mleka, przetwórstwo, dystrybucję, handel, aż do konsumpcji. Kluczowe znaczenie mają jednak inwestycje dostosowawcze w zakresie innowacyjnych technologii, systemów energetycznych i gospodarki wodno-ściekowej oraz zmiany organizacyjne, które stanowią podstawę wdrożenia modelu GOZ. Nie bez znaczenia jest także zaangażowanie w ten proces samych konsumentów.

Implementacja koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym może wiązać się z przeszkodami utrudniającymi czy opóźniającymi realizację tego procesu. Konieczność przeprowadzenia głębokich zmian modernizacyjnych i strukturalnych w sektorze będzie wymagała bowiem dużych nakładów inwestycyjnych na działalność innowacyjną, których nierzadko przedsiębiorstwa nie będą w stanie same sfinansować. Niezbędne będzie wsparcie tych działań ze źródeł zewnętrznych, w tym finansowanie środkami publicznymi. W przypadku inwestycji środowiskowych barierą absorpcji jest także niewielki dostęp do wiedzy, doradztwa, wsparcia rządowego, szkoleń i systemu zachęt. Występują również niespójności w zakresie przepisów prawnych, które utrudniają przedsiębiorstwom sprawne przejście na model GOZ.

the possibility of reducing the amount of waste and its reuse is regarded as the most effective method of increasing resource efficiency and reducing the negative impact of waste on the environment. The literature indicates numerous ways of using dairy waste and sewage sludge to produce various types of value-added products. If it is not possible to manage them otherwise, it is allowed to subject waste and sludge to both heat and electricity energy recovery processes. The modernization of systems is quite common and water and/or heat recovery systems are implemented, which allow to reduce the amounts of raw materials that are used. Optimizing energy consumption in enterprises with the use of renewable energy sources, in turn, allows to reduce the emission of harmful substances and enables the implementation of effective energy management. The examples of implementing the circular economy in the dairy industry also include numerous cases of using innovative and eco-friendly product packaging.

Actions undertaken by the food processing sector, including the dairy industry, aimed at transformation towards the circular economy should be treated as a necessity, not as a choice. Entrepreneurs who do not meet the new strict environmental criteria may be in a hopeless situation, especially in the context of the challenges related to the European Green Deal and the Farm to Fork Strategy.

Mimo tych przeszkód w praktyce gospodarczej i literaturze branżowej nie brak przykładów wdrażania różnych rozwiązań gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze przetwórstwa spożywczego, w tym branży mleczarskiej. Przede wszystkim możliwość redukcji ilości odpadów oraz ponowne ich wykorzystanie traktowane jest jako najskuteczniejsza metoda zwiększania wydajności zasobów oraz ograniczania negatywnego wpływu odpadów na środowisko. W literaturze wskazuje się liczne sposoby wykorzystywania odpadów mleczarskich i osadów ściekowych do produkcji różnego rodzaju produktów o wartości dodanej. W przypadku, gdy nie jest możliwe inne ich zagospodarowanie, dopuszcza się poddanie odpadów i osadów procesom odzysku energii, zarówno cieplnej, jak i elektrycznej. Dość powszechnie przeprowadzane są modernizacje instalacji oraz wdrażane systemy odzysku wody i/lub ciepła, które pozwalają na zmniejszenie ilości wykorzystywanych surowców. Optymalizacja zużycia energii w przedsiębiorstwach, przy zastosowaniu odnawialnych źródeł energii, pozwala z kolei na zmniejszenie emisji szkodliwych substancji oraz umożliwia wdrożenie efektywnej gospodarki energetycznej. Wśród przykładów wdrażania GOZ w mleczarstwie znajdują się także liczne przypadki stosowania innowacyjnych, proekologicznych opakowań produktów.

Podjęmowane przez sektor przetwórstwa spożywczego, w tym branżę mleczarską, działania zmierzające do transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym należy traktować jako konieczność, a nie jako wybór. Przedsiębiorcy niespełniający nowych, wysokich kryteriów środowiskowych mogą bowiem znaleźć się na pozycji przegranej, zwłaszcza w kontekście wyzwań związanych z Europejskim Zielonym Ładem i strategią „Od pola do stołu”.

## References

- Ada, N., Kazancoglu, Y., Sezer, M.D., Ede-Senturk, C., Ozer, I., & Ram, M. (2021). Analyzing Barriers of Circular Food Supply Chains and Proposing Industry 4.0 Solutions. *Sustainability*, 13(12), 6812. <https://doi.org/10.3390/su13126812>
- Adesra, A., Srivastava, V.K., & Varjani, S. (2021). Valorization of Dairy Wastes: Integrative Approaches for Value Added Products. *Indian Journal of Microbiology*, 61(3), 270–278. <https://doi.org/10.1007/s12088-021-00943-5>
- Ahmad, T., Aadil, R.M., Ahmed, H., ur Rahman, U., Soares, B.C.V., Souza, S.L.Q., Pimentel, T.C., Scudino, H., Guimarães, J.T., Esmerino, E.A., Freitas, M.Q., Almada, R.B., Vendramel, S.M.R., Silva, M.C., & Cruz, A.G. (2019). Treatment and Utilization of Dairy Industrial Waste: A Review. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 361–372. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>
- Alharbi, S., Majrashi, A., Ghoneim, A.M., Ali, E.F., Modahish, A.S., Hassan, F.A.S., & Eissa, M.A. (2021). A New Method to Recycle Dairy Waste for the Nutrition of Wheat Plants. *Agronomy*, 11(5), 840. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050840>
- Asunis, F., De Gioannis, G., Dessi, P., Isipato, M., Lens, P.N.L., Muntoni, A., Poletti, A., Pomi, R., Rossi, A., & Spiga, D. (2020). The Dairy Biorefinery: Integrating Treatment Processes for Cheese Whey Valorisation. *Journal of Environmental Management*, 276, 111240. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111240>
- Asunis, F., De Gioannis, G., Isipato, M., Muntoni, A., Poletti, A., Pomi, R., Rossi, A., & Spiga, D. (2019). Control of Fermentation Duration and pH to Orient Biochemicals and Biofuels Production from Cheese Whey. *Bioresource Technology*, 289, 121722. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121722>
- Ayil-Gutiérrez, B.A., Tamayo-Ordoñez, M.C., Silva Belmares, S.Y., Morales-Martínez, T.K., Rodríguez-De la Garza, J.A., Medina Morales, M.A., Soria Ortiz, A.I., Gutiérrez Rodríguez, B., Ríos-González L.J., Sosa Santillan, G.J., & Moreno Dávila, I.M.M. (2021). Study of Factors Involved in the Behavior of Biofilms Formed by Biohydrogen-Producing Microflora Identified by Molecular Biology Using Dairy Wastewater. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(51), 25965–25973. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.06.039>
- Bank Pekao. (2021, August). *Przetwórstwo mleka. Charakterystyka branży, bieżący trendy i perspektywy rozwojowe*. <https://www.pekao.com.pl/analizy-makroekonomiczne.html>
- Bhusari, A.A., Mazumdar, B., & Rathod, A.P. (2021). Synthesis and Characterization of Bio Catalyst Prepared from Dairy Waste for Lactic Acid Esterification. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 19(9), 939–948. <https://doi.org/10.1515/ijcre-2021-0098>
- Blades, L., Morgan, K., Douglas, R., Glover, S., De Rosa, M., Cromie, T., & Smyth, B., (2017). Circular Biogas-Based Economy in a Rural Agricultural Setting. *Energy Procedia*, 123, 89–96. Proceedings of 1<sup>st</sup> International Conference on Sustainable Energy and Resource Use in Food Chains including Symposium on Heat Recovery and Efficient Conversion and Utilisation of Waste Heat, ICSEF 2017, 19–20 April 2017, Windsor, UK. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.255>
- Boguniewicz-Zablocka, J., Klosok-Bazan, I., & Naddeo, V. (2019). Water Quality and Resource Management in the Dairy Industry. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 1208–1216. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0608-8>
- Brar, A., Kumar, M., & Pareek, N. (2019) Comparative Appraisal of Biomass Production, Remediation, and Bioenergy Generation Potential of Microalgae in Dairy Wastewater. *Frontiers in Microbiology*, 10, 678. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00678>
- Bukowski, H. (2018). W kierunku gospodarki cyrkularnej – rekomendacje rozwoju i implementacji praktycznych rozwiązań dla biznesu. Instytut Innowacyjna Gospodarka. [https://odpowiedzialnybiznes.pl/wp-content/uploads/2018/06/raport\\_w\\_kierunku\\_gospodarki\\_cyrkularnej-1.pdf](https://odpowiedzialnybiznes.pl/wp-content/uploads/2018/06/raport_w_kierunku_gospodarki_cyrkularnej-1.pdf)
- Chen, G.Q., Gras, S.L., & Kentish, S.E. (2019). Separation Technologies for Salty Wastewater Reduction in the Dairy Industry. *Separation & Purification Reviews*, 48(4), 325–353. <https://doi.org/10.1080/15422119.2018.1496452>
- Choudhary, M., Joshi, S., Mathur, V., Rao, L., & Srivastava, N. (2021). Production of Biofuel from Disposed Food and Dairy Waste. In H. Thatoi, S. Mohapatra, & S. Kumar Das (Eds.), *Bioprospecting of Enzymes in Industry, Healthcare and Sustainable Environment* (pp. 123–138). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-33-4195-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-33-4195-1_6)
- De Jesus, A., & Mendonça, S. (2018). Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-innovation Road to the Circular Economy. *Ecological Economics*, 145, 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.001>
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition. Ellen MacArthur Foundation. <https://emf.thirdlight.com/link/ip2fh05h21it-6nvypm>
- European Commission (EC). (2015). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Closing the Loop – An EU Action Plan for the Circular Economy. COM(2015) 614 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614#PP4Contents>
- European Commission (EC). (2020). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A new Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe. COM(2020) 98 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098#PP4Contents>

- European Parliament (EP). (2021, October). Fact Sheets on the European Union. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/67/innovation-policy>
- Fedotkina, O., Gorbashko, E., & Vatulkina, N. (2019). Circular Economy in Russia: Drivers and Barriers for Waste Management Development. *Sustainability*, 11(20), 5837. <https://doi.org/10.3390/su11205837>
- FOSS (2020, February 10). Magia mleka. *W jaki sposób innowacyjne produkty mleczarskie wzbogacają doświadczenie konsumenta*. <https://www.fossanalytics.com/pl-pl/news-articles/dairy/milk-magic>
- Gour, S., Mathur, N., Singh, A., & Bhatnagar, P. (2017). Characterization of Dairy Waste and its Utilization as Substrate for the Production of Single Cell Protein. *IOSR Journal of Biotechnology and Biochemistry*, 3(4), 73–78. <https://www.iosrjournals.org/iosr-jbb/papers/Volume%203,%20Issue%204/Version-2/N0304027378.pdf>
- Górska, J. (2017, October 7). *Opakowania: Opakowania w mleczarstwie*. Forum Mleczarskie. <https://www.forummleczarskie.pl/raporty/794.opakowania-w-mleczarstwie>
- Górska, J. (2022, January 7). *Przekąski: Coś na ząb*. Forum Mleczarskie. <https://www.forummleczarskie.pl/raporty/1225.przekaski-cos-na-zab>
- Gramegna, G., Scortica, A., Scafati, V., Ferella, F., Gurrieri, L., Giovannoni, M., Bassi, R., Sparla, F., Mattei, B., & Benedetti, M. (2020). Exploring the Potential of Microalgae in the Recycling of Dairy Wastes. *Bioresource Technology Reports*, 12, 100604. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100604>
- Grochowska, R., & Szczepaniak, I. (2019). Sustainability Business Models in Milk Processing. Considerations Based on the Polish Experience. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 52(2), 111–122. <https://doi.org/10.17306/J.JARD.2019.01104>
- Hart, J., Adams, K., Giesekam, J., Tingley, D.D., & Pomponi, F. (2019). Barriers and Drivers in a Circular Economy: The Case of the Built Environment. *Procedia CIRP*, 80, 619–624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>
- Janik, M., & Kulawik, P. (2022, February 3). *Innowacyjne opakowania do żywności na bazie naturalnych biopolimerów*. <https://www.spozywcetechnologie.pl/miesne-technologie/technologie-pakowania/802/innowacyjne-opakowania-do-zywnosci-na-bazie-naturalnych-biopolimerow>
- Jastrzębska, E. (2019). Konsument w gospodarce o obiegu zamkniętym. *Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów*, 172, 53–69. <https://doi.org/10.33119/SIP.2019.172.4>
- Kasztelan, A. (2012). Wpływ przemysłu spożywczego na środowisko w Polsce. *Przemysł Spożywczy*, 11, 12–16. <https://sigma-not.pl/publikacja-72608-wp%C5%82yw-przemysl%C5%82u-spo%C5%BCywczego-na-%C5%9Brodowisko-w-polsce-przemysl-spozywczy-2012-11.html> <https://www.researchgate.net/publication/323918049>
- Kavitha, V., Geetha, V., & Jennita Jacqueline, P. (2019). Production of Biodiesel from Dairy Waste Scum Using Eggshell Waste. *Process Safety and Environmental Protection*, 125, 279–287. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.03.021>
- KF Technologie. (n.d.). *Ekologiczne białe kubki 100% rPET*. Retrieved May 6, 2022, from <https://www.kftechnologie.com.pl/oferta/viscotec-ekstrudery-do-rpet-apet-pp/ekologiczne-bia%C5%82e-kubki-100-rpet>
- Kolev Slavov, A. (2017). General Characteristics and Treatment Possibilities of Dairy Wastewater – A Review. *Food Technology and Biotechnology*, 55(1), 14–28. <https://doi.org/10.17113/ftb.55.01.17.4520>
- Kosior, K. (2022). The Advancement of Digitalization Processes in Food Industry Enterprises in the European Union / Zaawansowanie procesów cyfryzacji w przedsiębiorstwach przemysłu spożywczego w Unii Europejskiej. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej / Problems of Agricultural Economics*, 371(2), 28–46. <https://doi.org/10.30858/zer/146782>
- Koźlecki, T., Jaros-Koźlecka, K., Szafran, J., Marciniak, A., Baranowska, M., Wołyniec, K., Piegza, M., Żarowska, B., & Robak, M. (2016). Zastosowanie nanocząstek srebra w foliach spożywczych. In H.M. Baranowska, & M. Piątek (Eds.), *Nowoczesne technologie produkcji żywności* (pp. 24–35). Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu. [https://wnoziz.up.poznan.pl/sites/default/files/feature/nowoczesne\\_tehnologie%281%29.pdf](https://wnoziz.up.poznan.pl/sites/default/files/feature/nowoczesne_tehnologie%281%29.pdf)
- Krajewski, K., Lipińska, M., Wrzosek, M., Bilska, B., Kołożyn-Krajewska, D. (2016). Food Waste – Four Dimensions of Security: Economic, Social, Energy and Environmental. *Intercathedra*, 32(2), 47–53. [http://www1.up.poznan.pl/intercathedra/files/Intercathedra%202016%20No%2032-2\[1\].pdf](http://www1.up.poznan.pl/intercathedra/files/Intercathedra%202016%20No%2032-2[1].pdf)
- Krentz, A., García-Cano, I., Ortega-Anaya, J., & Jiménez-Flores, R. (2022). Use of Casein Micelles to Improve the Solubility of Hydrophobic Pea Proteins in Aqueous Solutions Via Low-Temperature Homogenization. *Journal of Dairy Science*, 105(1), 22–31. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20902>
- Kulczycka, J. (Ed.). (2019). *Gospodarka o obiegu zamkniętym w polityce i badaniach naukowych*. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk. [https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/the\\_circular\\_economy\\_in\\_policy\\_and\\_scientific\\_research.pdf](https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/the_circular_economy_in_policy_and_scientific_research.pdf)
- Kumar Awasthi, M., Paul, A., Kumar, V., Sar, T., Kumar, D., Sarsaiya, S., Liu, H., Zhang, Z., Binod, P., Sindhu, R., Kumar, V., & Taherzadeh, M.J. (2022). Recent Trends and Developments on Integrated Biochemical Conversion Process for Valorization of Dairy Waste to Value Added Bioproducts: A Review. *Bioresource Technology*, 344(Pt A). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126193>
- Lawton, M.R., deRiancho, D.L., & Alcaine, S.D. (2021). Lactose Utilization by *Brettanomyces Claussenii* Expands Potential for Valorization of Dairy By-Products to Functional Beverages Through Fermentation. *Current Opinion in Food Science*, 42, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.05.006>

- Lofthouse, V.A., & Prendeville, S. (2017). Considering the User in the Circular Economy. In C. Bakker, & R. Mugge (Eds.), *Product Lifetimes and the Environment* (pp. 213–216). Research in Design Series, 9. [Conference Proceedings]. PLATE 2017, Delft University of Technology, November 8–10, 2017, Delft, the Netherlands. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-820-4-213>
- Marcus, J.F., DeMarsh, T.A., & Alcaine, S.D. (2021). Upcycling of Whey Permeate through Yeast- and Mold-Driven Fermentations under Anoxic and Oxidic Conditions. *Fermentation*, 7(1), 16. <https://doi.org/10.3390/fermentation7010016>
- Ministerstwo Rozwoju i Technologii. (2019). Mapa drogowa transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym. <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/rada-ministrow-przyjela-projekt-mapy-drogowej-goz>
- MleczarnieOnline.pl. (2018, June 1). *Mleko to dla Polaków istotny element zdrowej diety, a najzdrowszym opakowaniem jest szkło*. <https://mleczarnieonline.pl/nowe-technologie/1201439-mleko-to-dla-polakow-istotny-element-zdrowej-diety-a-najzdrowszym-opakowaniem-jest-szklo>
- Newseria. (2017, December 14). *Przemysł mleczarski stawia na innowacje. Branża coraz bardziej skupia się na naturalności produktów*. <https://biznes.newseria.pl/news/przemysl-mleczarski,p875534819>
- Qin, S., Wainaina, S., Awasthi, S.K., Mahboubi, A., Liu, T., Liu, H., Zhou, Y., Liu, H., Zhang Z., Taherzadeh, M.J., & Awasthi, M.K. (2021). Fungal Dynamics During Anaerobic Digestion of Sewage Sludge Combined with Food Waste at High Organic Loading Rates in Immersed Membrane Bioreactors. *Bioresource Technology*, 335, 125296. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125296>
- Rizos, V., Behrens, A., Van der Gaast, W., Hofman, E., Ioannou, A., Kafyke, T., Flamos, A., Rinaldi, R., Papadelis, S., Hirschnitz-Garbers, M., & Topi, C. (2016). Implementation of Circular Economy Business Models by Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs): Barriers and Enablers. *Sustainability*, 8(11), 1212. <https://doi.org/10.3390/su8111212>
- Rogall, H. (2010). *Ekonomia zrównoważonego rozwoju. Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Zysk i S-ka.
- Rudnicki, L. (2012). Konsument w polityce rozwoju nowego produktu. *Zeszyty Naukowe Małopolskiej Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Tarnowie*, 20(1), 137–147. <https://zn.mwse.edu.pl/index.php/zn/article/view/312/286>
- Seremak-Bulge, J., Grochowska, R., Szczepaniak, I., Szajner, P., Bułkowska, M., & Hryszko, K. (2015). *Ocena strat ponoszonych na poszczególnych etapach łańcucha mleczarskiego w Polsce*. Ed. R. Grochowska. *Studia i Monografie*, 162. IERiGŻ PIB. [http://www.ierigz.waw.pl/download/18742-sim\\_162.pdf](http://www.ierigz.waw.pl/download/18742-sim_162.pdf)
- Silva, A.N. da, Macêdo, W.V., Sakamoto, I.K., Pereyra, de L.A.D., Mendes, C.O., Maintinguer, S.I., Caffaro Filho, R.A., Zamariolli Damianovic, M.H., Amancio Varesche, M.B., & Amorim, E.L.C.D. (2019). Biohydrogen Production from Dairy Industry Wastewater in an Anaerobic Fluidized-Bed Reactor. *Biomass and Bioenergy*, 120, 257–264. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.11.025>
- Sokołowska, O. (2019, August 9). Odpady: Zagospodarowanie odpadów z przemysłu mleczarskiego. *Forum Mleczarskie Biznes*, 2(36). <https://www.forummleczarskie.pl/raporty/948,zagospodarowanie-odpadow>
- Szajner, P. (2020). *Badanie dotyczące wpływu unijnej strategii „Od pola do stołu” na rozwój sektora mleczarskiego w Polsce*. Fundusz Promocji Mleka.
- Tripathi, A.D., Paul, V., Agarwal, A., Sharma, R., Hashempour-Baltork, F., Rashidi, L., & Khosravi-Darani, K. (2021). Production of Polyhydroxyalkanoates Using Dairy Processing Waste – A Review. *Bioresource Technology*, 326, 124735. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124735>
- Usmani, Z., Sharma, M., Gaffey, J., Sharma, M., Dewhurst, R.J., Moreau, B., Newbold, J., Clark, W., Thakur, V.K., & Gupta, V.K. (2022). Valorization of Dairy Waste and By-Products Through Microbial Bioprocesses. *Bioresource Technology*, 346, 126444. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126444>
- Veolia. (n.d.). *Jak poprawić efektywność energetyczną w przemyśle spożywczym?* Retrieved April 28, 2022, from <https://www.veolia.pl/jak-poprawic-efektywnosc-energetyczna-w-przemysle-spozywczym>
- Wiadomości Handlowe. (2018, May 29). *Rośnie popyt na produkty mleczne w szkło*. <https://www.wiadomoscihandlowe.pl/artukul/rosnie-popyt-na-produkty-mleczne-w-szkle/1>
- Wieczorkiewicz, R. (2018, November 9). *Mleko. Prof. Babuchowski: Mamy trzy główne obszary innowacji w mleczarstwie*. <https://www.portalspozywczy.pl/mleko/wiadomosci/prof-babuchowski-mamy-trzy-glowne-obszary-innowacji-w-mleczarstwie.164856.html>
- Wojdalski, J., Dróżdż, B., Niżnikowski, R., Krajewski, K., & Kupczyk, A. (2021). *Ekofektywność – Mleczarstwo – Czystsza Produkcja. Wybrane zagadnienia w kontekście zrównoważonego rozwoju i gospodarki obiegu zamkniętego*. [Conference Proceedings]. XXXIX Scientific and Technical Conference: Problems of the Economy and the Environment in the Dairy Industry, September 1–3, 2020, Brok, Poland. [https://www.researchgate.net/publication/348135399\\_XXXIX\\_Konferencja\\_Naukowo-Techniczna\\_pt\\_Problemy\\_gospodarki\\_energia\\_i\\_srodowiskiem\\_w\\_mleczarstwie\\_Brok\\_1-3\\_wrzesnia\\_2020\\_rok\\_EKOEFEKTYWNOSC\\_MLECZARSTWO\\_CZYSTSZA\\_PRODUKCJA\\_ECO-EFFICIENCY\\_DAIRY\\_CLEANER](https://www.researchgate.net/publication/348135399_XXXIX_Konferencja_Naukowo-Techniczna_pt_Problemy_gospodarki_energia_i_srodowiskiem_w_mleczarstwie_Brok_1-3_wrzesnia_2020_rok_EKOEFEKTYWNOSC_MLECZARSTWO_CZYSTSZA_PRODUKCJA_ECO-EFFICIENCY_DAIRY_CLEANER)
- Wołoszyn, A. (2019, 05 listopada). *Mleko w zwrotnej, szklanej butelce wraca do łask. Wystarczy zapłacić kaucję*. <https://finanse.wp.pl/mleko-w-zwrotnej-szklanej-butelce-wraca-do-lask-wystarczy-zaplacic-kaucje-6442526820419713a>

- Wołoszyn, A. (2019, November 5). *Mleko w zwrotnej, szklanej butelce wraca do łask. Wystarczy zapłacić kaucję*. <https://finanse.wp.pl/mleko-w-zwrotnej-szklanej-butelce-wraca-do-lask-wystarczy-zaplacic-kaucje-6442526820419713a>
- Wyszkowska, Z., & Ankiewicz, T. (2013). Trendy w rozwoju opakowań produktów mleczarskich. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 52(2), 95–97. [http://inzynieria-aparatura-chemiczna.pl/pdf/2013/2013-2/InzApChem\\_2013\\_2\\_095-097.pdf](http://inzynieria-aparatura-chemiczna.pl/pdf/2013/2013-2/InzApChem_2013_2_095-097.pdf)
- Zheng, L., Xu, Y., Geng, H., & Dai, X. (2022). Enhancing Short-Term Ethanol-Type Fermentation of Waste Activated Sludge by Adding Saccharomycetes and the Implications for Bioenergy and Resource Recovery. *Journal of Environmental Sciences*, 113, 179–189. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.06.005>

*Submission date / Data nadeśnięcia: 7.06.2022.*

*Final revision date / Data ostatniej recenzji: 5.07.2022.*

*Acceptance date / Data akceptacji do druku: 1.08.2022.*

Unless stated otherwise all the materials on the website are available under the Creative Commons Attribution 4.0 International license. Some rights reserved to the Institute of Agricultural and Food Economics National Research Institute.



O ile nie jest stwierdzone inaczej, wszystkie materiały na stronie są dostępne na licencji Creative Commons Uznanie Autorstwa 4.0 Międzynarodowe. Pewne prawa zastrzeżone na rzecz Instytutu Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej Państwowego Instytutu Badawczego.

