

Ekoefektywność jako kryterium oceny inwestycji proekologicznych

Wybrane zagadnienia w kontekście zrównoważonego rozwoju i gospodarki obiegu zamkniętego

Janusz Wojdalski^{3,4,5}, Roman Niżnikowski^{2,3}, Karol Krajewski⁵, Bogdan Dróżdź¹, Paweł Sulima¹

¹Katedra Inżynierii Produkcji SGGW w Warszawie

²Katedra Hodowli Zwierząt SGGW w Warszawie

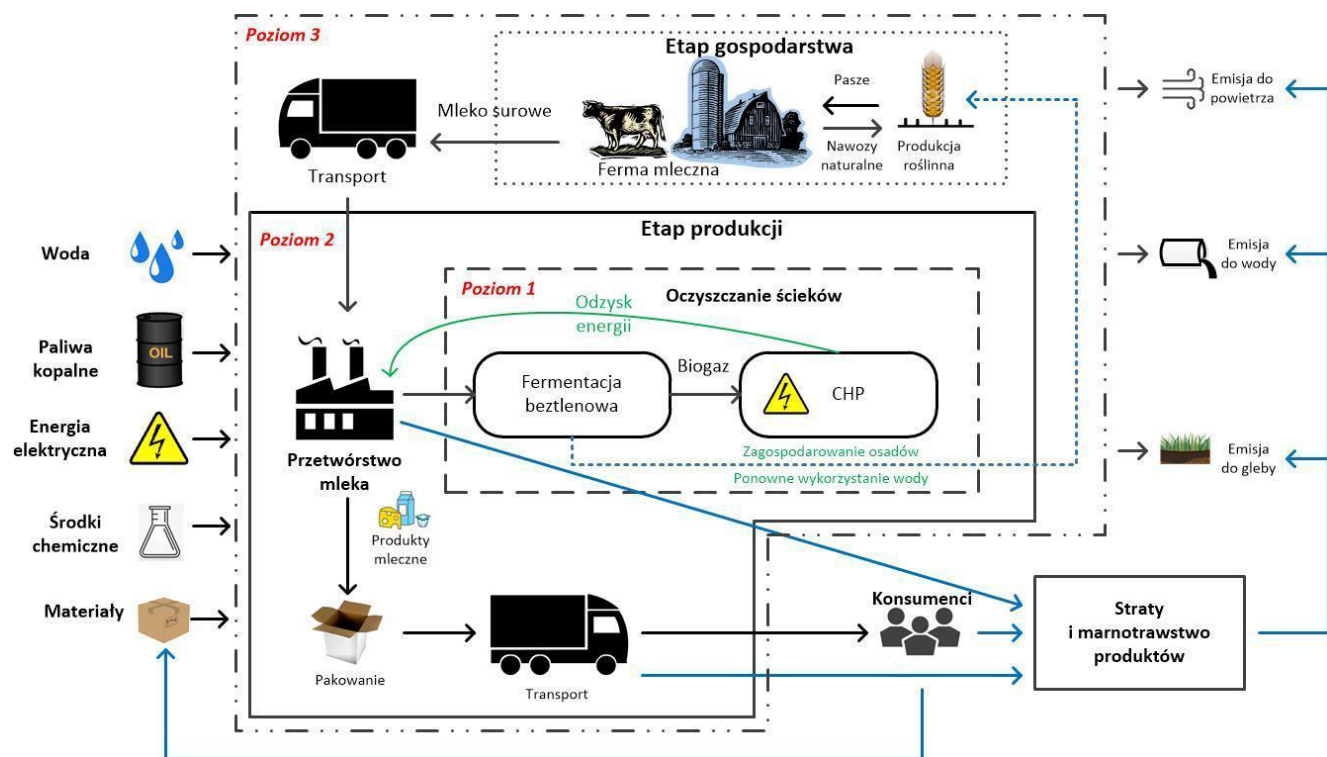
³Stowarzyszenie na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju Polski im. prof. Jana Szyszko w Warszawie

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

⁵Narodowy Instytut Kultury i Dziedzictwa Wsi w Warszawie

Zrównoważony rozwój określa się jako rozwój społeczno-gospodarczy, w którym występuje integracja działań

gospodarczych i społecznych z zachowaniem praw człowieka, równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych i środowiskowych, mający na celu zapewnienie realizacji potrzeb obecnej generacji bez naruszania możliwości zaspakajania potrzeb następnych pokoleń. Rozwój zrównoważony jest też traktowany jako proces, który uwzględnia cztery zasadnicze aspekty: ekonomiczny, ekologiczny, społeczny i zagospodarowanie przestrzenne [24, 26]. Swoim zasięgiem obejmuje również ekoefektywność inwestycji. W odniesieniu do sektora rolno-spożywczego, zrównoważony rozwój wymaga dążenia do pozyskiwania surowców pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, ich przetwarzania oraz dystrybucji gotowych produktów spożywczych, zarówno z nadrzędnym celem zapewnienia odpowiedniej jakości i bezpieczeństwa zdrowotnego żywności, jak również z systematyczną identyfikacją i monitorowaniem kluczowych aspektów środowiskowych w całym łańcuchu produkcji i przemian. Nieodłącznym elementem działalności produkcyjnej jest powstawanie odpadów, pozostałości poprodukcyjnych i produktów ubocznych, wymagających właściwego zagospodarowania. Biorąc pod uwagę wymóg przeprowadzenia zmian w funkcjonowaniu gospodarki, wynikającej z potrzeby zmniejszania się zasobów naturalnych oraz opisanego wyżej problemu zaproponowano koncepcję „Gospodarki o obiegu zamkniętym” (GOZ). Koncepcja ta charakteryzuje się kontrolą poszczególnych okresów życia produktu, w celu pozostawienia surowców i materiałów przez jak najdłuższy czas w gospodarce, przy jednoczesnym zredukowaniu masy wytwarzanych odpadów [28]. Jest dążeniem do zmniejszania szkodliwego



Rys. 1. Wielopoziomowe granice systemu GOZ dla hodowli bydła i przetwórstwa mleczarskiego z uwzględnieniem strat i marnotrawstwa produktów mleczarskich. Opracowanie własne z uwzględnieniem koncepcji Stanchev i in. [19, 20]

oddziaływania produktów na naturalne środowisko. Odpady są traktowane jako materiał wtórny. Szersze znaczenie GOZ na przykładzie mleczarstwa, przedstawiono w pracach [18, 19, 20, 22, 25]. Wielopoziomowe granice systemu GOZ dla hodowli bydła i przetwórstwa mleka, należy jednak uzupełnić o konsekwencje strat i marnotrawstwa produktów mleczarskich dla GOZ [12] oraz ich skutki prowadzące do zwiększenia emisji zanieczyszczeń z systemu gospodarki mleczarskiej, co przedstawiono na rys.1. Fermentacja beztlenowa ścieków w przemyśle mleczarskim stała się kluczowym elementem gospodarki cyrkulacyjnej. Ponadto oczyszczanie ścieków mleczarskich minimalizuje ilość odpadów produkcyjnych. Stosując dodatkowo serwatkę, która pełni rolę katalizatora zwrócono szczególną uwagę na wzrost wydajności biogazu. Biogaz jest gazem palnym i może być wykorzystany jako paliwo do napędu turbiny gazowej w celu produkcji energii elektrycznej, jako paliwo stosowane do wytwarzania nośnika ciepła (pary wodnej) lub jako paliwo napędzające silnik układu kogeneracyjnego, gdzie w jednym procesie wytwarza się energię elektryczną i ciepło – CHP (Combined Heat and Power).

W ostatnich latach także źródła energii odnawialnej cieszą się coraz większym zainteresowaniem, głównie moduły fotowoltaiczne, które również przyczyniają się w znaczącym stopniu do zapobiegania zmianom zachodzącym w klimacie. Istotnym postępowaniem w rozwoju GOZ jest określenie wskaźników dla przedsiębiorstw, które na czele swoich działań stawiają poprawę jakości ekosystemu [3, 4, 11, 14]. Uogólnione czynniki wpływające na zrównoważony rozwój produkcji mleczarskiej wykraczające poza zakład mleczarski przedstawiono w pracach [7, 19, 20]. Life Cycle Assessment (LCA) jako środowiskowa ocena cyklu życia jest techniką z zakresu procesów zarządczych. Celem jest ocena potencjalnych zagrożeń środowiska oraz nastawienie zarówno na ocenę wyniku analizowanego procesu technologicznego, jak również oszacowanie i ocenę konsekwencji realizacji całego procesu.

Celem niniejszego opracowania jest próba uporządkowania wiedzy i syntezy najnowszych doniesień oraz przykładów obliczeń z zakresu ekoefektywności jako kryterium oceny inwestycji proekologicznych.

Ekoefektywność (EkoE) oznacza produkcję i dostarczanie usług w konkurencyjnych cenach, dostosowanych do potrzeb człowieka i podnoszących jego jakość życia z uwzględnieniem ograniczenia wpływu na środowisko i zużycia materiałów i zasobów w całym cyklu życia [1, 2, 5, 6, 8, 13, 21]. Analiza ekoefektywności umożliwia zarówno ocenę przedsięwzięć prowadzących do ograniczenia zużycia zasobów oraz wpływu na środowisko, jak i wzrostu wartości dodanej produktu oraz wzrostu efektywności ekonomicznej zakładu produkcyjnego (powiązanej z ograniczaniem wpływu na środowisko). Celem analizy ekoefektywności jest porównanie różnych stosowanych rozwiązań uwzględniających czynniki ekonomiczne (Ekon) i środowiskowe (EkoL). Wskaźniki ekoefektywności mogą być wyznacznikami innowacyjności i służyć do oceny wpływu lub porówny-



Rys. 2. Uwarunkowania ekoefektywności w gospodarce żywnościowej

wania stosowanych technologii na środowisko uwzględniając przy tym efektywność produkcji (EP) i efektywność energetyczną (EE). Ekoefektywność może być więc wyrażona zależnością funkcyjną:

$$\text{EkoE} = f(\text{Ekon}, \text{EkoL}, \text{EP}, \text{EE})$$

w którym: Ekon – czynniki i wskaźniki ekonomiczne, EkoL – czynniki i wskaźniki środowiskowe, EP – uwarunkowania efektywności produkcji, EE – uwarunkowania efektywności energetycznej.

Na rysunku 2 przedstawiono czynniki mające wpływ na kształtowanie się ekoefektywności inwestycji proekologicznych i bieżącą działalność produkcyjną.

Analiza ekoefektywności dotychczas obejmowała różne gałęzie przemysłu w tym różne działy gospodarki żywnościowej i przemysłu rolno-spożywczego. Do obszarów zastosowań analiz ekoefektywności można zaliczyć: ekoprojektowanie, ekoinżynierię, cykl życia produktu, czystsza produkcję (CP) oraz wybrane aspekty zarządzania (Lean Manufacturing, Agile Management) i logistyki. Martinelli i in. [15] przedstawili ocenę ekoefektywności różnych systemów produkcji drobiu, wykorzystując ocenę cyklu życia i ekonomiczną wartość dodaną. Zakłady przetwórstwa rolno-spożywczego, w tym również zakłady mleczarskie, mięsne i drobiarskie różnią się między sobą także pod względem emisji zanieczyszczeń [9, 16, 17]. W tabeli 1 zawarto wskaźniki wyrażające energochłonność produkcji, zużycie wody i emisje zanieczyszczeń związane z pracą zakładów drobiarskich. Wśród tych zanieczyszczeń znajdują się wymienione w kosztach dofinansowania emisje CO₂, SO₂, NO_x oraz pyły i inne czynniki brane pod uwagę we wdrażaniu czystszej produkcji.

Przykłady wyrażania ekoefektywności.

1. Na podstawie definicji:

Ekoefektywność = [Wartość produktu (wyrobu lub usługi)/ (Wpływ na środowisko)]

$$\text{EkoE} = \frac{[\text{Ekon}]}{[\text{EkoL}]} = \frac{[\text{PLN/Mg produktu}]}{[\text{Mg zanieczyszczeń/Mg produktu}]}$$

Tabela 1

Wybrane wskaźniki i czynniki stosowane do oceny ekologicznych (środowiskowych) aspektów pracy zakładów przemysłu drobiarskiego

Wskaźniki i czynniki stosowane do oceny	Wymiar wskaźnika (specyficzne cechy zakładu)	Średnie wartości liczbowe	Zakres		Źródło
			Wartości minimalne	Wartości maksymalne	
Energochłonność produkcji	kWh/1000 szt.	2100	600	8200	[10]
	kWh/Mg drobiu	95,13	35,96	330,2	[23]
Jednostkowe zużycie wody	m ³ /Mg drobiu	3.06	1.85	5.79	[23]
Jednostkowe zużycie energii cieplnej	GJ/1000 szt.	17,7	3,5	51,4	[10, 23]
	[MJ/Mg drobiu]	6780	1950	19000	
Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu BZT ₅	kg/100 ptaków	1,44	0,05	2,73	[27]
	kg/Mg ptaków	6,68	0,19	12,7	
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu ChZT	kg/100 ptaków	3,13	0,22	8,60	[27]
	kg/Mg ptaków	14,4	0,89	40,1	
Emisja SO ₂	kg/100 ptaków	1,05			[27]
	kg/Mg produktów	3,23	0,13	11,1	
Emisja NO _x	kg/100 ptaków	0,31	0,02	0,65	[27]
	kg/Mg produktów	1,23	0,10	2,66	
Emisja CO ₂	kg /100 ptaków	1,20	0,23	2,90	[27]
	kg/Mg produktów	3,57	0,01	11,1	
Emisja pyłów	kg/100 ptaków	0,60	0,07	1,99	[27]
	kg/Mg produktów	1,15	-	-	

[Ekon] – wartość produktu można wyrażać jako jednostkowy koszt przetwarzania surowca lub wytworzenia gotowego produktu np. koszt przetwarzania surowca, [PLN/m³ mleka]

[EkoI] – wpływ przetwarzania mleka na środowisko można wyrazić jako np. [Mg zanieczyszczeń/m³ mleka].

Otrzymany wskaźnik efektywności [EkoE] miałby wymiar [PLN/Mg zanieczyszczeń] i mógłby posłużyć do racjonalnej interpretacji ekonomiczno-inżyniersko-środowiskowej oraz porównań efektywności innych przedsięwzięć o charakterze proekologicznym. Wskaźnik ten wyrażałby np. koszt wytworzenia 1Mg produktu na 1Mg emitowanych zanieczyszczeń.

2. Należy równocześnie zwrócić uwagę na fakt, że zarówno efektywność produkcji [EP] jak i efektywność energetyczna [EE] ogólnie biorąc stanowią ilorazy [efekt]/[nakład].

Efektowność energetyczna (EE), zgodnie z Ustawą z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej, jest to „stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, w typowych warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie

techniczne lub instalację, niezbędną do uzyskania tego efektu”.

Ekoefektywność [EkoE] może być też wyrażana podobnym ilorazem. W takim przypadku byłby to iloraz [(wskaźnik środowiskowy)/(wskaźnik kosztów)]. Zatem istotę efektywności [EkoE] można wyrazić również jako iloraz [(efekt środowiskowy)/(nakład poniesiony na uzyskanie efektu środowiskowego)]. Efekt środowiskowy może być wyrażony jako zmniejszenie emisji zanieczyszczeń. W tym przypadku EkoE może mieć np. wymiary [Δ Mg zanieczyszczeń/1 mln PLN] i jest interpretowane jako łączne zmniejszenie emisji zanieczyszczeń na jednostkę poniesionych kosztów.

Wskaźnik wyrażający koszt wytworzenia 1Mg produktów na jednostkę emitowanych zanieczyszczeń [PLN/Mg zanieczyszczeń] można obliczyć na podstawie zależności: np. [PLN/Mg zanieczyszczeń] = [PLN/m³ mleka] / [Mg zanieczyszczeń/m³ mleka]

Oba wymienione wskaźniki, jako parametry efektywności są komplementarne względem siebie i odpowiadają na podstawowe stawiane pytania dotyczące powiązań ekonomiczno-ekologicznych. Podobne wyrażenie zastosowano dla produkcji drobiarskiej [14]. Poniżej przedstawiono przykłady oszacowania efektywności z zastosowaniem danych rzeczywistych.

Przykład I. Pewien zakład mleczarski (obiekt I) w roku 2020 modernizował system produkcji energii cieplnej i pary technologicznej.

Koszty finansowania przedsięwzięcia były następujące:

– całkowity koszt przedsięwzięcia: 10 002 218 zł, w tym: koszty kwalifikowane: 8 131 885 zł koszty niekwalifikowane: 1 870 333 zł;

– kwota dofinansowania: do 6 912 102,00 zł;

– kwota dofinansowania stanowi do 85% kosztów kwalifikowanych przedsięwzięcia;

Efekt ekologiczny przedsięwzięcia obejmował zmniejszenie następujących emisji:

– CO₂ z: 28 271,283 Mg/rok na: 13 160,197 Mg/rok tj. mniej o 15 111,09 Mg/rok (tj. o 53,4%);

– SO₂ z: 224,321 Mg/rok na: 0,111 Mg/rok tj. mniej o 224,210 Mg/rok (tj. o 99,9%);

– NO_x z: 42,255 Mg/rok na: 11,512 Mg/rok tj. mniej o 30,743 Mg/rok (tj. o 72,7%);
 – pyłu z: 210,273 Mg/rok na: 0,006 Mg/rok tj. mniej o 210,267 Mg/rok (tj. o 99,9%).
 Stanowi to łącznie 15 576,31 Mg zanieczyszczeń/rok mniej w porównaniu ze stanem przed wdrażaniem inwestycji proekologicznych.

W związku tym, z punktu widzenia wymienionego przedsiębiorstwa, uwzględniającego całkowity koszt przedsięwzięcia wskaźniki efektywności wynoszą:

$$[EkoE]_{10} = [\text{efekt ekologiczny} / \text{poniesione koszty}] = \frac{15576,31 \text{ Mg}}{10,002 \text{ 218 mln zł}} = 1554,18 \frac{\text{Mg}}{1 \text{ mln zł}}$$

Wskaźnik wyraża [Δ Mg zanieczyszczeń/1 mln PLN] tj. efektywność zmniejszania emisji zanieczyszczeń

$$[EkoE]_{20} = [\text{tys. PLN} / \Delta \text{Mg zanieczyszczeń}] = \frac{10002,218 \text{ tys. zł}}{15576,31 \text{ Mg}} = 0,6421 \frac{\text{tys. zł}}{\text{Mg}} = 642,1 \text{ zł/Mg}$$

Wskaźnik wyraża [tys. PLN/ Δ Mg zanieczyszczeń] tj. koszt ponoszony na zmniejszanie emisji zanieczyszczeń o jednostkę [Mg].

Z punktu widzenia instytucji udzielającej wymienionej kwoty dofinansowania, wskaźniki efektywności wynoszą:

$$[EkoE]_{11} = [\text{efekt ekologiczny} / \text{poniesione koszty}] = \frac{15576,31 \text{ Mg}}{6,912102 \text{ mln zł}} = 2253,48 \frac{\text{Mg}}{1 \text{ mln zł}}$$

Wskaźnik wyraża [Δ Mg zanieczyszczeń/1 mln PLN] tj. efektywność zmniejszania emisji zanieczyszczeń.

$$[EkoE]_{21} = [\text{tys. PLN} / \Delta \text{Mg zanieczyszczeń}] = \frac{6912,102 \text{ tys. zł}}{15576,31 \text{ Mg}} = 0,4437 \frac{\text{tys. zł}}{\text{Mg}} = 443,7 \text{ zł/Mg}$$

Wskaźnik ten wyraża [tys. PLN/ Δ Mg zanieczyszczeń] tj. koszt PLN ponoszony na zmniejszanie emisji zanieczyszczeń o jednostkę [Mg].

Przykład II. Obiekt II w roku 2020 przeprowadzał modernizację systemu ciepłowniczego w celu zwiększenia jego efektywności polegającej na budowie wysoko-sprawnej kogeneracji zasilanej gazem. Koszty finansowania przedsięwzięcia były następujące:

– całkowity koszt przedsięwzięcia: 27 950 520 zł, w tym: koszty kwalifikowane: 22 698 000 zł koszty niekwalifikowane: 5 252 520 zł;

– kwota dofinansowania: do 11 165 856 zł;
 – kwota dofinansowania stanowi do 49,18% kosztów kwalifikowanych przedsięwzięcia.

Efekt ekologiczny przedsięwzięcia obejmował zmniejszenie następujących emisji:

– zmniejszenie zużycia energii cieplnej pierwotnej 67 912,50 GJ/rok;
 – zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 22 241,60 Mg/rok.

Czas osiągnięcia efektu ekologicznego 32 miesiące.

W związku z tym, z punktu widzenia wymienionego przedsiębiorstwa, uwzględniającego całkowity koszt przedsięwzięcia wskaźniki efektywności wynoszą:

$$[EkoE]_{10} = [\text{efekt ekologiczny} / \text{poniesione koszty}] = \frac{22241,60 \text{ Mg}}{27,950 \text{ 520 mln zł}} = 795,75 \frac{\text{Mg}}{1 \text{ mln zł}}$$

Wskaźnik wyraża [Δ Mg zanieczyszczeń/1 mln PLN] tj. efektywność zmniejszania emisji zanieczyszczeń

$$[EkoE]_{20} = [\text{tys. PLN} / \Delta \text{Mg zanieczyszczeń}] = \frac{27950,52 \text{ tys. zł}}{22241,60 \text{ Mg}} = 1,2566 \frac{\text{tys. zł}}{\text{Mg}} = 1256,6 \text{ zł/Mg}$$

Wskaźnik wyraża [tys. PLN/ Δ Mg zanieczyszczeń] tj. koszt ponoszony na zmniejszanie emisji zanieczyszczeń o jednostkę [Mg].

Z punktu widzenia instytucji udzielającej wymienionej kwoty dofinansowania, wskaźniki efektywności wynoszą:

$$[EkoE]_{11} = [\text{efekt ekologiczny} / \text{poniesione koszty}] = \frac{22241,60 \text{ Mg}}{11,165856 \text{ mln zł}} = 1991,93 \frac{\text{Mg}}{1 \text{ mln zł}}$$

Wskaźnik wyraża [Δ Mg zanieczyszczeń/1 mln PLN] tj. efektywność zmniejszania emisji zanieczyszczeń.

$$[EkoE]_{21} = [\text{tys. PLN} / \Delta \text{Mg zanieczyszczeń}] = \frac{11165,856 \text{ tys. zł}}{22241,60 \text{ Mg}} = 0,5020 \frac{\text{tys. zł}}{\text{Mg}} = 502,0 \text{ zł/Mg}$$

Wskaźnik ten wyraża [tys. PLN/ Δ Mg zanieczyszczeń] tj. koszt PLN ponoszony na zmniejszanie emisji zanieczyszczeń o jednostkę [Mg].

W tabeli 2 przedstawiono syntezę powyższych obliczeń z uwzględnieniem kosztów ponoszonych w analizowanych obiektach.

Obliczone wskaźniki [EkoE]₁₀ i [EkoE]₂₀ mają znaczenie wewnątrz branży przemysłowej do porównań z innymi obiektami planującymi przedsięwzięcia o znaczeniu proekologicznym. Wskaźniki [EkoE]₁₁ i [EkoE]₂₁ mogą posłużyć instytucji przyznającej dofinansowanie, do porównań z innymi planowanymi przedsięwzięciami, w celu wyboru najkorzystniejszych wariantów z punktu widzenia ochrony środowiska. Wymienione wskaźniki mogą być stosowane jako kryteria oceny przedsięwzięć inwestycyjnych w zakresie efektywności zmniejszania emisji zanieczyszczeń wyrażonej kwotą poniesioną na zmniejszenie odprowadzanej masy zanieczyszczeń o 1 Mg.

Tabela 2
Porównanie wskaźników efektywności w analizowanych obiektach

Obiekt	Mg	zł/Mg
	zanieczyszczeń/1 mln zł	zanieczyszczeń
I	[EkoE] ₁₀ = 1554,18	[EkoE] ₂₀ = 642,1
	[EkoE] ₁₁ = 2253,48	[EkoE] ₂₁ = 443,7
II	[EkoE] ₁₀ = 795,75	[EkoE] ₂₀ = 1256,6
	[EkoE] ₁₁ = 1991,93	[EkoE] ₂₁ = 502,0

Wskaźniki zestawione w tabeli 1 mogą także posłużyć do szczegółowych obliczeń efektywności realizowanych inwestycji.

Podsumowanie

Wskaźniki środowiskowe (w tym wskaźniki efektywności) są przydatne w procesach oceny wniosków podmiotów o przyznanie dofinansowania na cele proekologiczne. Mogą także być przydatne w *benchmarkingu* tj. w badaniach porównawczych lub analizach porównawczych jako praktykach stosowanych w zarządzaniu polegające na porównywaniu np. energochłonności zakładu, lub procesów i praktyk stosowanych przez analizowane przedsiębiorstwo z energochłonnością, lub praktykami stosowanymi w zakładach/przedsiębiorstwach uznawanych za najlepsze w danej branży, lub analizowanej dziedzinie. Branża mleczarska jest tego dobrym przykładem.

Przeprowadzone analizy i badania wykazują, że zakłady przetwórstwa mleka obecnie w większości przypadków koncentrują się na wykazaniu wskaźników tylko z obszaru zakładu m.in. wkładu zasobów naturalnych oraz otrzymanych rezultatów z odzysku odpadów z uwzględnieniem koncepcji cyklu życia, dlatego dla pełności oceny oddziaływania należy dążyć do poszerzenia zakresu tych wskaźników w celu doskonalenia praktyki GOZ, także o elementy oddziaływania rosnących wielkości strat i marnotrawstwa produktów. Analogiczne badania i obserwacje mogą dotyczyć branży mięsnej i drobiarskiej.

Literatura: 1. **Asem-Hiablie S., Battagliese T., Stackhouse-Lawson K.R., Rotz C.A.**, 2019 – A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef system in the USA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(3), 441-455. 2. **Basset-Mens C., Ledgard S., Boyes M.**, 2009 – Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecological Economics*, 68(6), 1615-1625. 3. **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. 4. **Burchart-Korol D.**, 2016 – Zrównoważone zarządzanie zasobami naturalnymi bazując na gospodarce cyrkulacyjnej. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*, 51-61. 5. **Burchart-Korol D., Kruczek M., Czaplicka-Kolarz K.**, 2016 – Wykorzystanie efektywności w ocenie poziomu ekoinnowacyjności [www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/arttyk_pdf_2013/p026.pdf, data dostępu 8.11.2016]. 6. **Cerutti A.K., Beccaro G.L., Bagliani M., Donno D., Bounous G.**, 2013 – Multifunctional ecological footprint analysis for assessing eco-efficiency: A case study of fruit production systems in Northern Italy. *Journal of Cleaner Production*, 40, 108-117. 7. **Cortés A., Feijoo G., Fernández M., Moreira M. T.**, 2021 – Pursuing the route to eco-efficiency in dairy production: The case of Galician area. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124861. 8. **Costa M.P., Schoeneboom J.C., Oliveira S.A., Vinas R.S., de Medeiros G.A.**, 2018 – A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1460-1471. 9. **Dillon J.A., Rotz A., Karsten H.**, 2019 – 145 Eco-efficiency of Northeast US grass-fed beef systems. *Journal of Animal Science*, 97(Supplement_3), 146-147. 10. **Drózd B.**, 2010 – Zużycie energii i wody w zakładach przetwórstwa dro-

biarskiego. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 41-46. 11. **Kılış Ş., Kılış B.**, 2017 – Integrated circular economy and education model to address aspects of an energy-water-food nexus in a dairy facility and local contexts. *Journal of Cleaner Production*, 167, 1084-1098. 12. **Krajewski K., Lipińska M., Wrzosek M., Biłska B., Kołożyn-Krajewska D.**, 2016 – Food Waste – Four dimensions of Security: Economic, Social, Energy and Environmental, *INTERCATHEDRA*, 32/2, 47-53. 13. **Kleiber M.**, 2011 – Efektywność technologii. *Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego, Radom*. 14. **Liu W., Zhan J., Li Z., Jia S., Zhang F., Li Y.**, 2018 – Eco-efficiency evaluation of regional circular economy: A case study in Zengcheng, Guangzhou. *Sustainability*, 10(2), 453. 15. **Martinelli G., Vogel E., Decian M., Farinha M. J.U.S., Bernardo L.V.M., Borges J.A.R., Gimenes R.M.T., Garcia R.G., Ruviano C.F.**, 2020 – Assessing the eco-efficiency of different poultry production systems: an approach using life cycle assessment and economic value added. *Sustainable Production and Consumption*, 24, 181-193. 16. **McCabe B.K., Harris P., Antille D. L., Schmidt T., Lee S., Hill A., Baillie C.**, 2020 – Toward profitable and sustainable bioresource management in the Australian red meat processing industry: A critical review and illustrative case study. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(22), 2415-2439. 17. **Petrović Z., Djordjević V., Milicević D., Nastasijević I., Parunović N.**, 2015 – Meat production and consumption: Environmental consequences. *Procedia Food Science*, 5, 235-238. 18. **Skrydstrup J., Larsen S.L., Rygaard M.**, 2020 – Eco-efficiency of water and wastewater management in food production: A case study from a large dairy in Denmark. *J. Ind. Ecol.*, 1-12. <https://doi.org/10.1111/jiec.13011>. 19. **Stanchev P., Vasilaki V., Egas D., Colon J., Ponsá S., Katsou E.**, 2020 – Multilevel environmental assessment of the anaerobic treatment of dairy processing effluents in the context of circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 121139. 20. **Stanchev P., Vasilaki V., Katsou E.**, 2017 – Multilevel Environmental Assessment of Dairy Processing Industry in the Context Of Circular Economy. In 5th International Conference on Sustainable Waste Management. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/66a1/8671926cf493cc8f1d2a3d92e2082c6e818f.pdf> (pp. 1221711423-1542979831). 21. **Walker R.V., Jiang F., Osidele O.O., Beck M.B.**, 2009 – October – Eco-effectiveness, eco-efficiency, and the metabolism of a city: A multi-sectoral analysis. In 2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (pp. 1470-1475). *IEEE*. 22. **Wojdalski J.**, 2020 – Efektywność – mleczarstwo czystsza produkcja. <http://nowypm.pl/index.php/arttykuly/technika/20700-ekoefektywnosc-mleczarstwo-czystsza-produkcja>. 23. **Wojdalski J., Drózd B., Powęzka A.**, 2009 – Effectiveness of energy and water consumption in a poultry processing plant. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.–OL PAN*, 9, 395-402. 24. **Wojdalski J., Niżnikowski R., Krajewski K., Żelaziński T.**, 2018 – Biogospodarka, przemysł rolno-spożywczy, zrównoważony rozwój – wybrane zagadnienia. *Przegląd Hodowlany*, 86(4), 22-28. 25. **Wojdalski J., Niżnikowski R.**, 2019 – Energia, woda i środowisko w produkcji mleczarskiej – zarys problematyki. *Przegląd Hodowlany*, 87(6), 24-29. 26. **Wojdalski J., Niżnikowski R.**, 2019 – Biogospodarka, pasze, biogaz – wybrane zagadnienia w kontekście zrównoważonego rozwoju. *Przegląd Hodowlany*, 87(2). 27. *WS Atkins International*, 1998 – Ochrona środowiska w przemyśle rolno-spożywcym. *Standardy środowiskowe. FAPA, Warszawa*, 62-65, 77, 80, 86-87. 28. **Xu R. M., Luan J. D.**, 2014 – A Study on Assessment of the Circular Economy Development of Livestock and Poultry Breeding Enterprises. *East China Economic Management*, 05.