

Zakład przemysłu mięsnego

ENERGIA·WODA·ŚRODOWISKO

Cz. I. Wprowadzenie i struktura zakładu produkcyjnego

**Janusz Wojdalski^{1,4}, Przemysław Ligenza¹,
Roman Niżnikowski^{1,2}, Marta Postuła³,
Bogdan Drózd⁴**

¹ Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej,

² SGGW w Warszawie, Instytut Nauk o Zwierzętach,
Katedra Hodowli Zwierząt,

³ Uniwersytet Warszawski,

Katedra Finansów i Rachunkowości,

⁴ SGGW w Warszawie, Instytut Inżynierii Mechanicznej,
Katedra Inżynierii Produkcji

Wstęp

W Polsce przetwórstwo mięsne jest ważną branżą przemysłu rolno-spożywczego i ma istotny wpływ na rozwój gospodarczy, generując około 2,4% polskiego PKB oraz miejsca pracy, ponieważ branża ta należy do jednego z największych pracodawców w kraju, zatrudniając w latach 2015-2023 około 150 000 osób [30]. Niewątpliwie produkty branży przetwórstwa mięsnego są także istotną składową, tj. około 10% całkowitego polskiego eksportu. W 2020 r. Polska wyeksportowała prawie 907 tys. Mg wyrobów z mięsa wołowego, wieprzowego i drobiowego o wartości ponad 2,1 mld euro. W Europie w latach 1990-2016 wystąpił wzrost spożycia mięsa. W przeliczeniu na mieszkańca spożycie mięsa wynosiło w granicach 63,4-65,8 kg [25]. Trudno zatem odmówić tej branży istotnego wpływu na wskaźniki makroekonomiczne w Polsce.

Podobnie jak w wielu innych krajach, polska branża mięsna stoi przed problemami takimi jak rosnące koszty surowców, wzrost cen nośników energii, epidemie chorób zwierzęcych oraz rosnąca konkurencja ze strony otoczenia zewnętrznego. Struktura kosztów w przetwórstwie mięsnym może się różnić w zależności od wielu czynników, w tym rodzaju przetwarzanego mięsa, lokalizacji zakładu produkcyjnego, wielkości produkcji i poziomu automatyzacji procesów produkcyjnych. Można wyróżnić kilka podstawowych kategorii kosztów, które w sposób istotny wpływają na koszty całkowite. Zazwyczaj największym kosztem w przetwórstwie mięsnym,

stanowiącym ok. 50% kosztów całkowitych jest koszt surowców. Koszty pracy mogą obejmować płace, które stanowią ok. 20% kosztów całkowitych w tej branży. Ponadto koszty maszyn i aparatury mogą stanowić ok. 15% wszystkich kosztów.

Energia i paliwa mogą wynosić ok. 5% wszystkich kosztów (szczególnie w przypadku przedsiębiorstw wykorzystujących wiele systemów chłodniczych). W tym kontekście należy także zwrócić uwagę na opłaty środowiskowe. Bezpieczeństwo energetyczne kraju, rozpatrywane wieloaspektowo, jest stanem gospodarki umożliwiającym pokrycie zapotrzebowania odbiorców na energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, z uwzględnieniem wymagań ochrony środowiska naturalnego, w myśl obowiązującego w tym zakresie prawa. Zasady i warunki korzystania ze środowiska, a w szczególności zasady ustalania warunków ochrony zasobów środowiska, wprowadzania substancji lub energii do środowiska, obowiązku ponoszenia opłat za korzystanie ze środowiska określa Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska. Ustawa określa także obowiązki organów ochrony środowiska oraz formy i przesłanki ponoszenia odpowiedzialności za naruszenie wymagań ochrony środowiska lub korzystania ze środowiska. Strategia rozwoju energetyki powinna obejmować łącznie bezpieczeństwo energetyczne i żywnościowe, gdyż te są ze sobą ściśle połączone. Zużycie nośników energii w zakładach przetwórstwa mięsnego zależy od wielu czynników, spośród których wymienia się np.: wielkość i strukturę przerobu, stosowaną technologię produkcji, termofizyczne właściwości surowca, stopień zmechanizowania operacji produkcyjnych oraz stopień wykorzystania zdolności przerobowej. Według Rybarczyka [18], pozyskiwanie surowca mięsnego wiąże się z koniecznością zagospodarowania odpadów powstających w trakcie cyklu produkcyjnego, których ilość może wynosić do 40% masy surowca. Zagospodarowanie odpadów poubojowych wymaga racjonalnego i bezpiecznego dla środowiska ich przetwarzania [22]. Odpady te mogą stanowić substrat w biogazowniach. Zapotrzebowanie na nośniki energii jest uwzględniane między innymi w pozwoleniu zintegrowanym, stanowiącym zbiór wymagań i zasad wpływających na efektywną ochronę środowiska z uwzględnieniem najlepszych dostępnych technik produkcyjnych [5, 7, 28]. Ponadto nowoczesne metody zarządzania energią (benchmarking) w zakładach produkcyjnych wymagają tworzenia baz danych przydatnych w analizie efektywności energetycznej przetwarzania żywności oraz dostarczania reprezentatywnych danych wejściowych. Na rysunku 1. przedstawiono czynniki stanowiące uwarunkowania pracy zakładów branży mięsnej.

Koszty przetwarzania i konserwacji żywności mają istotny związek z energochłonnością i efektywnością energetyczną produkcji. Woda używana w zakładach przemysłu mięsnego jest traktowana jako surowiec do produkcji oraz nośnik energii. Zakłady mięsne można także rozpatrywać w kontekście ich oddziaływania na środowisko oraz jako jeden z elementów biogospodarki [3, 8, 22, 24]. Zakłady tej branży często są uznawane za



Rys. 1. Zakład przemysłu mięsnego w środowisku [Opracowanie własne]

miejsca powstawania trudnych do oczyszczenia ścieków, charakteryzujących się dużym ładunkiem zanieczyszczeń organicznych. Wody odpadowe oprócz białek i tłuszczów zawierają także trudno biodegradowalne związki chemiczne pochodzące z procesu mycia maszyn, aparatury i hal produkcyjnych. Ilości ścieków są uzależnione od wielkości produkcji poszczególnych zakładów. Na przykład średnia ilość ścieków powstających w wybranym zakładzie mięsnym wynosi 150 m³/d czemu odpowiada wielkość równoważnej liczby mieszkańców RLM wg BZT₅ około 9500 [10]. Równoważna liczba mieszkańców wyraża wielokrotność ładunku zanieczyszczeń w ściekach powstających w stosunku do jednostkowego ładunku zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych od jednego mieszkańca w ciągu doby (określany jako BZT₅), równego 60 g O₂/24 h (na podstawie Polskiej Klasyfikacji Statystycznej Dotyczącej Działalności i Urzędzeń Związanych z Ochroną Środowiska – rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 marca 1999 r., Dz. U. poz. 218. Do omawianej problematyki należy zaliczyć także emisję odorów (wyziewów) oraz hałasu [7, 28].

Celem pracy jest kolejne porządkowanie danych wejściowych z uwzględnieniem oryginalnego schematu zakładu przemysłu mięsnego jako użytkownika nośników energii oraz synteza wyników badań dotyczących uwarunkowań środowiskowych pracy zakładów tej branży. Wśród celów pracy jest również określenie wskaźników ekoefektywności przedsięwzięć inwestycyjnych istotnych w ocenie innowacji wprowadzanych w zakładzie produkcyjnym w kontekście jego oddziaływania na środowisko. W związku z tym przytoczono publikacje i materiały źródłowe dotyczące omawianej problematyki, z uwzględnieniem wyników badań własnych autorów.

Ocena użytkowania nośników energii

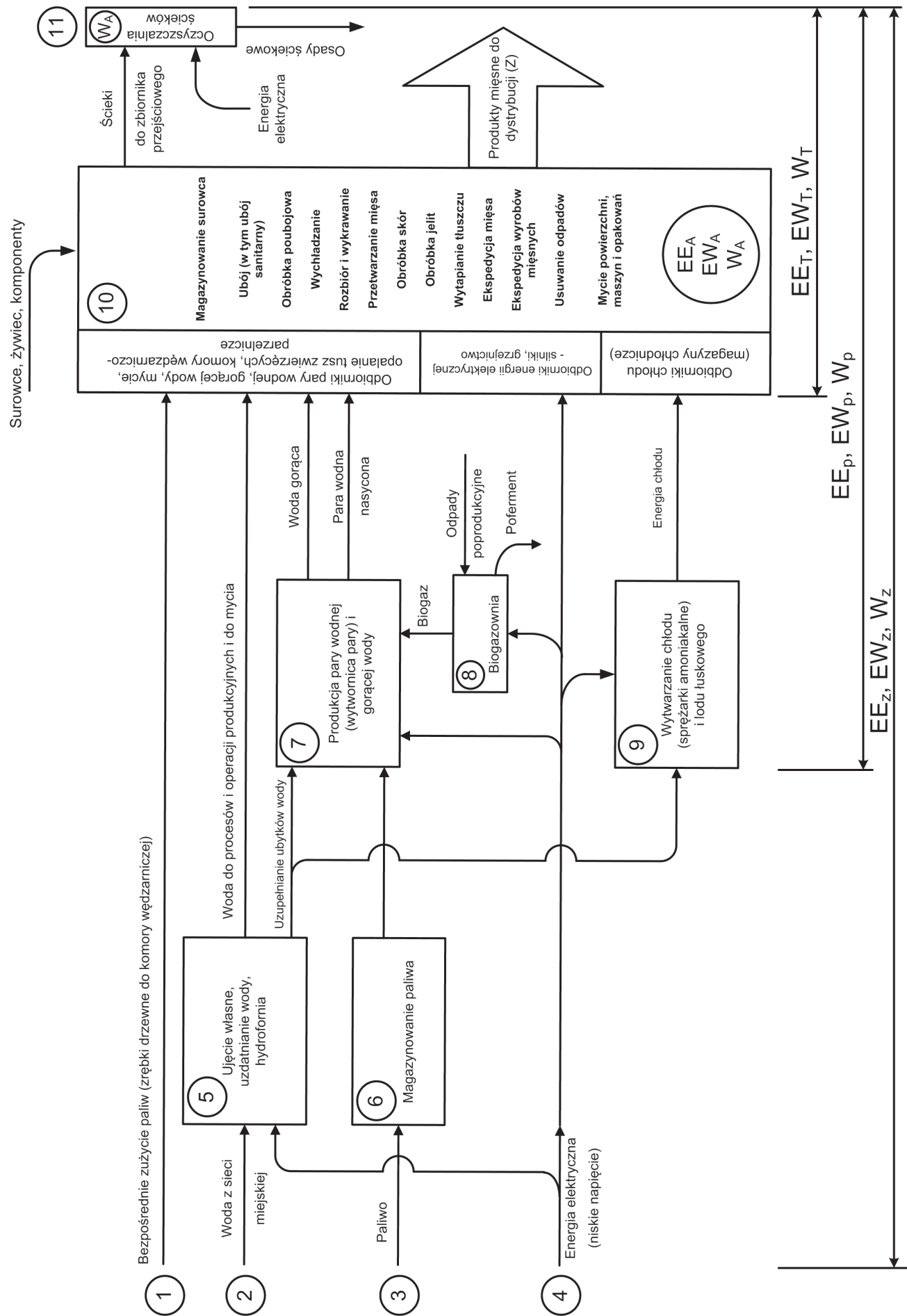
W celu usystematyzowania dostępnych wskaźników stosowanych w tym zakresie posłużono się schematem zakładu przetwórstwa mięsnego jako użytkownika nośników energii. Na rysunku 2 przedstawiono schemat zakładu tej branży i występujące w nim przepływy nośników energii. Do oceny efektywności gospodarki energią lub wodą w zakładach tej branży najczęściej stosuje się wskaźniki jednostkowego zużycia nośnika energii (W)

oraz wskaźniki efektywności energetycznej (EE) i wskaźniki efektywności zużycia wody (EW). Analiza zużycia energii i wody wymaga posłużenia się m.in. zakładowymi wskaźnikami jednostkowego zużycia nośników energii (W_z). Obejmują one wszystkie odbiorniki energii związane z przemianami nośników i ich użytkowaniem w zakładzie traktowanym jako całość. Mniejszy zakres wiedzy na temat energochłonności produkcji zakładu mięsnego wnoszą wskaźniki: technologiczny W_T, produkcyjny W_P i agregatowy W_A. Analogiczne uwagi dotyczą również np. wskaźników EE_e i EE_w. Efektywność energetyczna wyraża się ilorazem uzyskanego efektu produkcyjnego do poniesionego nakładu (zużycia energii). Efektywność 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, niezbędnej do uzyskania tego efektu”. Zakresy wskaźników efektywności energetycznej także przedstawiono na rysunku 2 wraz ze wskaźnikami energochłonności produkcji. Poprawa efektywności energetycznej może być związana ze zmniejszeniem zapotrzebowania na nośniki energii oraz strat podczas przemian, przesyłania i ich finalnego wykorzystania. Może to być skutkiem zmian w technologii, zapewniających niezmienny lub wyższy poziom produkcji. Efektami mogą być: poszanowanie energii, zmniejszenie zużycia zasobów naturalnych, redukcja emisji zanieczyszczeń oraz ograniczanie ilości wytwarzanych odpadów na każdym etapie produkcji i przetwarzania mięsa [9, 16, 19]. Łączna masa odpadów z przemysłu mięsnego w ciągu roku wynosi ok. 945 Mg. Jedną z możliwości zagospodarowania odpadów jest utylizacja termiczna. Popiół z tej utylizacji zawiera fosfor w ilościach porównywalnych, do tych, które znajduje się w naturalnych surowcach fosforowych [20]. Z dostępnych źródeł wynika, że energochłonność produkcji jest wyrażana przy pomocy różnych wskaźników, a przyczyny zmienności zużycia nośników energii w zakładach mięsnych różnej wielkości nie zostały w pełni wyjaśnione [17, 23]. Przytoczane w pracach [4, 15, 24] wskaźniki jednostkowego zużycia nośników energii (W_A, W_T, W_z) wymagają aktualizacji i uszczegółowienia zakresów.

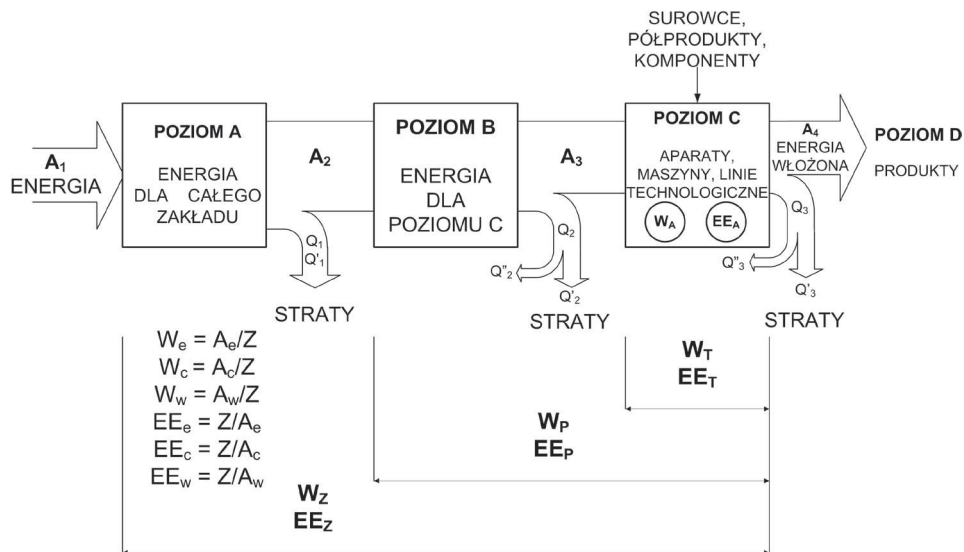
Na rysunku 3 przedstawiono przemiany oraz straty energii (Q_n) na etapach/poziomach przemian energetycznych (np. Q₂, Q₃) w zakładzie produkcyjnym, którego schemat przedstawiono na rysunku 2 oraz straty na poziomie wskaźnika zakładowego (np. Q₁).

Na rysunku 3 wyodrębniono następujące poziomy użytkowania energii:

A. **Zasilanie w nośniki energii.** Na tym poziomie prowadzi się pomiary zużycia nośników energii (A_e, A_c) i wody (A_w), oznaczonych jako poz. 1+4 wraz z węzłami 5 i 6 na rysunku 2, niezbędnych do wyznaczenia zakładowych wskaźników (W_z) jednostkowego zużycia nośników energii (W_e, W_c, W_w) oraz odpowiednich wskaźników efektywności energetycznej stanowiących odwrotność wymienionych wskaźników jako EE, EW.



Rys. 2. Uogólniony schemat zakładu przemysłu mięsnego jako użytkownika nośników energii [Opracowanie własne]



Rys. 3. Zakresy stosowania wskaźników jednostkowego zużycia nośników energii w zakładach produkcyjnych [Opracowanie własne]

B. Przemiany nośników energii i dalsza transformacja parametrów z poziomu A

oznaczono jako poz. 7 i 9 na rysunku 2. Poziom obejmuje produkcyjny wskaźnik jednostkowego zużycia energii (W_p) i efektywności energetycznej (EE_p). Występują tu możliwości gospodarki skojarzonej, np. wykorzystanie biogazu na cele energetyczne. Na tym poziomie biogazownia (poz. 8, rys. 2) może być zasilana strumieniem odpadów (np. treści pokarmowa ubitych zwierząt) z poziomu C. Biogaz jako produkt fermentacji metanowej ubocznych produktów pochodzenia zwierzęcego (kategoria 2 i 3) stanowi mieszaninę gazów, w której skład wchodzi metan (30-70%) i dwutlenek węgla (30-70%) oraz niewielkie ilości H_2S , pary wodnej, wodoru oraz N_2 i NH_3 . Wartość opałowa metanu wynosi około $39,7 \text{ MJ/m}^3$. Biogaz o średniej zawartości CH_4 wynoszącej 62% ma wartość opałową $22,1 \text{ MJ/m}^3$ [21, 26]. Przykładem produkcji biogazu może być instalacja w Zakładzie Food Service Sp. z o.o. w Rawie Mazowieckiej. Biogazownia w Koczale może być uznana za wzorcowy przykład gospodarki obiegu zamkniętego (GOZ). Goodvalley jako jeden z największych producentów w branży mięsnej [1, 27], zarządza także ośmioma biogazowniami rolniczymi. Należy zaznaczyć, że poferment stanowi odpad oznaczony kodami 19 06 05 lub 19 06 06. Wprowadzenie pofermentu do obrotu jako nawozu organicznego wymaga stosownej certyfikacji [2]. Biogaz jako paliwo może być używany w kotłowni zakładowej (poz. 7, rys. 2). Termiczna utylizacja mączek zwierzęcych (wartość opałowa $18,5 \text{ MJ/kg}$) oraz biomasy odpadowej (wartość opałowa tłuszczu zwierzęcego $38,3 \text{ MJ/kg}$) może być źródłem energii oraz przykładem wdrażania zasad biogospodarki [14]. Mączka mięsno-kostna charakteryzuje się wysokim ciepłem spalania (23979 kJ/kg), porównywalnym z wysokiej klasy węglem energe-

tycznym [6]. Zespół sprężarek chłodniczych, występujących na tym poziomie, jest największym odbiorcą energii elektrycznej, zużywającą 24-50% energii elektrycznej w całym zakładzie [11, 28].

C. Użytkowanie nośników energii. Na tym poziomie stosuje się maszyny, aparaturę i urządzenia produkcyjne (poz. 10 na rys. 2). Poziom ten obejmuje energię końcową wprowadzoną w procesach i operacjach produkcyjnych bez dalszego przetworzenia jej nośników na inne nośniki energii (np. olej napędowy w środku transportu, woda gorąca w wymienniku ciepła, ciepło w parze wodnej, praca mechaniczna, chłód technologiczny, oświetlenie, wytworzenie podciśnienia).

W zakładach produkcyjnych, w których występuje odzyskiwanie energii, poziom ten może być znacznie rozbudowany. Z tego względu przedstawiony na rys. 3. wykres Sankey'a może uwzględniać wielokrotne wykorzystanie energii (np. strumienie Q_2 i Q_3). Poziom obejmuje zakres technologicznego wskaźnika jednostkowego zużycia energii (W_t). Węższy od wskaźników technologicznych (W_t , EE_t) zakres, obejmujący wskaźniki agregatowe wyrażające energochłonność W_A poszczególnych maszyn i aparatów tworzących linię technologiczną oraz odpowiednio wskaźniki efektywności energetycznej (EE_A). Przykłady maszyn i aparatury: Mięso – Metalbud NOWICKI (nowickifm.com) [13]; JWE-BANSS – leading slaughtering and meat processing systems (jwebanss.de) [5]. Można także korzystać z listy tzw. zielonych urządzeń i materiałów (ZUM) spełniających wymagania techniczne określone w programie „Czyste powietrze” [29].

D. Energia wykorzystana. Odpowiada użytecznie wykorzystanej energii (energii włożonej A_4) niezbędnej do uzyskania produktu finalnego (Z) w zakładzie produkcyjnym. Jest równocześnie poziomem odniesienia dla energii wprowadzanej (A_1) na poziom A. Przykładowo maksymalizacja współczynnika $\eta_4 = A_4/A_1$ przy najniższych wartościach wskaźnika W_z oraz zachowaniu zamierzonej jakości produktów, może świadczyć o poprawnie prowadzonej gospodarce energią. Pozostaje tylko pytanie o koszt jednostki energii A_1 doprowadzanej na poziom A, co jest istotne przy transformacji energetycznej.

Zależnie od zakresu prowadzonych analiz, oczyszczalnia ścieków może być zaliczana do wskaźników W_t , W_p , lub W_z jako odrębny obiekt (poz. 11 rys. 2). Zwiększenie produkcji biogazu w oczyszczalniach ścieków może następować poprzez współfermentację osadów ściekowych z osadami z odtłuszczaczy z zakładu przetwórstwa mięsnego [12].

- Literatura:** 1. **Bednarek A.**, 2022 – Biogazownia w Koczale – wzorcowy przykład GOZ. Rynek biogazu i biometanu 9 (90): 42-45. 2. **Bio-Industry** | Biogazownia rolnicza, ochrona środowiska i kompostownie; [Dostęp 23.03.2023]. 3. **Djekič I., Tomasevič I.**, 2016 – Environmental impacts of the meat chain – Current status and future perspectives. Trends in Food Science & Technology 54, 94-102. 4. **IFC – World Bank Group**, 2007 – Environmental, Health, and Safety Guidelines for Meat Processing, April 30, 7-24. 5. **JWE-BANSS** – leading slaughtering and meat processing systems (jwebanss.de); [Dostęp 23.03.2023]. 6. **Karcz H., Kozakiewicz A.**, 2007 – Sposób termicznej utylizacji odpadów zwierzęcych. Energetyka 11, 823-831. 7. **Komisja Europejska**. Zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich ograniczanie. Dokument referencyjny na temat najlepszych dostępnych technik w przemyśle spożywczym; https://ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/BREF_spozy_2.pdf. 8. **Konieczny P., Uchman W.**, 1998 – Zakłady mięsne a środowisko naturalne, Wydawnictwo AR im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, 7-52. 9. **Kowalski Z., Krupa-Żuczek K.**, 2007 – A model of the meat waste management. Polish Journal of Chemical Technology 9(4): 91-97. 10. **Kwarciak-Kozłowska A., Mielczarek K., Bohdziewicz J.**, 2011 – Zastosowanie reaktora ASBR do oczyszczania ścieków z przemysłu mięsnego. Rocznik Ochrona Środowiska 13, 1891-1904. 11. **Li S., Ziara R.M., Dvorak B., Subbiah J.**, 2018 – Assessment of water and energy use at process level in the US beef packing industry: Case study in a typical US large-size plant. Journal of Food Process Engineering 41(8): e12919. 12. **Luostarinen S., Luste S., Sillanpää M.**, 2009 – Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat processing plant. Bioresource Technology 100(1): 79-85. 13. **Mięso – Metalbud NOWICKI** (nowickifm.com); [Dostęp 23.03.2023]. 14. **Mroczek K., Kucharyk S., Rudy M., Mroczek J. R.**, 2019 – Możliwości zagospodarowania odpadów z przemysłu mięsnego w zgodzie z zasadami biogospodarki. Polish Journal for Sustainable Development 23(2): 73-80. 15. **Neryng A., Wojdalski J., Budny J., Kraśkowski E.**, 1990 – Energia i woda w przemyśle rolnospożywczym. WNT, Warszawa, 99-103, 184-189. 16. **Nunes J., Da Silva P.D., Andrade L.P., Domingues L., Gaspar P.D.**, 2016 – Energy assessment of the Portuguese meat industry. Energy Efficiency 9, 1163-1178. 17. **Pathare P.B., Roskilly A.P., Jagtap S.**, 2019 – Energy efficiency in meat processing. In Novel Technologies and Systems for Food Preservation (pp. 78-107). IGI Global. 18. **Rybarczyk A.**, 2022 – Systemy utylizacji i zagospodarowania biomasy z produkcji zwierzęcej. III Kongres Zootechniki Polskiej “Quo vadis zootechniko?”, Monografia. Polskie Towarzystwo Zootechniczne, Warszawa 2022, 181-196. 19. **Simpson A., Kubicki M.**, 1998 – Ochrona środowiska w przemyśle mięsnym. FAPA. Warszawa, 42-45. 20. **Staroń A., Kowalski Z., Banach M., Wzorek Z.**, 2010 – Sposoby termicznej utylizacji odpadów z przemysłu mięsnego. Czasopismo techniczne Politechnika Krakowska. Kraków, 10, 323-332. 21. **Ubooczne produkty pochodzenia zwierzęcego** | Główny Inspektorat Weterynarii (wetgiw.gov.pl); [Dostęp 23.03.2023]. 22. **Wojdalski J., Drózd B. (red.)**, 2021 – Przetwórstwo rolnospożywcze i biogospodarka. Wybrane zagadnienia inżyneryjno-produkcyjne, biotechniczne, energetyczne i środowiskowe. SGGW, Warszawa, 245-286. 23. **Wojdalski J., Drózd B., Grochowicz J., Magryś A., Ekielski A.**, 2013 – Assessment of energy consumption in a meat-processing plant – a case study. Food and Bioprocess Technology 6.10, 2621-2629. 24. **Wojdalski J., Niżnikowski R., Drózd B.**, 2023 – Energetyczne i środowiskowe aspekty pracy zakładu przemysłu mięsnego. Technologie produkcji. Mięśnie – Technologie, 2022/2023 – zima, 70-73. ISSN 2300-5904. 25. **Xue L., Prass N., Gollnow S., Davis J., Scherhauser S., Östergren K., Cheng S., Liu G.**, 2019 – Efficiency and carbon footprint of the German meat supply chain. Environmental Science & Technology 53(9): 5133-5142. 26. www.gdansk.wiw.gov.pl/uboczne-produkty; [Dostęp 23.03.2023]. 27. https://www.goodvalley.com/pl/OUR_PRODUCTS | Goodvalley; [Dostęp 23.03.2023]. 28. https://www.ekoportal.gov.pl/fileadmin/Ekoportal/Pozwolenia_zintegrowane/BREF/7_Dokument_referencyjny_BREF_Rzeznie.pdf [Dostęp: 05.04.2023]. 29. <https://lista-zum.ios.edu.pl/>; [Dostęp: 11.04.2023]. 30. <https://polskiemieso.pl/> [Dostęp: 14.03.2024]

XVIII Forum Zootechniczno- -Weterynaryjne w Poznaniu

Kontynuując inicjatywę prof. dr. hab. Zbigniewa Sobka, już pod nowymi rządami prof. dr. hab. Adama Cieślaka zorganizowano XVIII Forum Zootechniczno-Weterynaryjne. Głównym tematem tegorocznego sympozjum były rozważania na temat „Rozrodu zwierząt w dobie selekcji

genomowej”. Temat wzbudził ogromne zainteresowanie, a na tegoroczne forum zarejestrowało się ponad 300 uczestników.

XVIII Forum Zootechniczno-Weterynaryjne zostało objęte Patronatem Honorowym Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, Krajowego Ośrodka Wsparcia Rolnictwa, Głównego Lekarza Weterynarii, Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Prezydenta Polskiej Federacji Hodowców Bydła i Producentów Mleka, Polskiego Związku Hodowców Koni oraz Dziekana Wydziału Medycyny Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Niezmiennie wspierała nas prasa branżowa, Przegląd Hodowlany oraz Animal Science and Genetics, oraz Top Agrar, Hodow-