

Analiza gospodarki ściekowej w zakładach przetwórstwa mięsnego w Polsce

Analysis of wastewater management in meat processing plants in Poland

PAWEŁ WOLSKI, MARIA KUDRA

DOI: 10.17512/INSTAL.2026.06.04

Ścieki z przetwórstwa mięsnego stanowią istotny problem ze względu na ich ilość, jakość oraz powstawanie na różnych etapach technologicznych. Technologia i sposób oczyszczania ścieków są dostosowywane do rodzaju produkcji. Minimalizacja zużycia wody oraz ilości odpadów powstających na etapie produkcji to dwa główne cele prawidłowo prowadzonej gospodarki wodno-ściekowej w zakładach przetwórstwa mięsnego. Ograniczenie kosztów procesu produkcyjnego pozostaje nadrzędnym celem każdej działalności gospodarczej. W artykule przedstawiono analizę gospodarki ściekowej w zakładach przetwórstwa mięsnego, z uwzględnieniem rodzaju i profilu produkcji, etapów oraz miejsc powstawania ścieków, a także sposobów ich oczyszczania i zagospodarowania.

Słowa kluczowe: ścieki, zakłady mięsne, oczyszczanie, zagospodarowanie

Wastewater from meat processing poses a major challenge due to its quantity, quality, and generation at various technological stages. The wastewater treatment technology and method are adapted to the type of production. Minimising water consumption and the amount of waste generated during production are the two main objectives of proper water and wastewater management in meat processing plants. Reducing costs in the production process remains the primary goal of any business activity. The article presents an analysis of wastewater management in meat processing plants, taking into account the type and profile of production, the stages and locations of wastewater generation, as well as the methods of its treatment and management.

Keywords: sewage, meat processing plants, treatment, management

Wprowadzenie

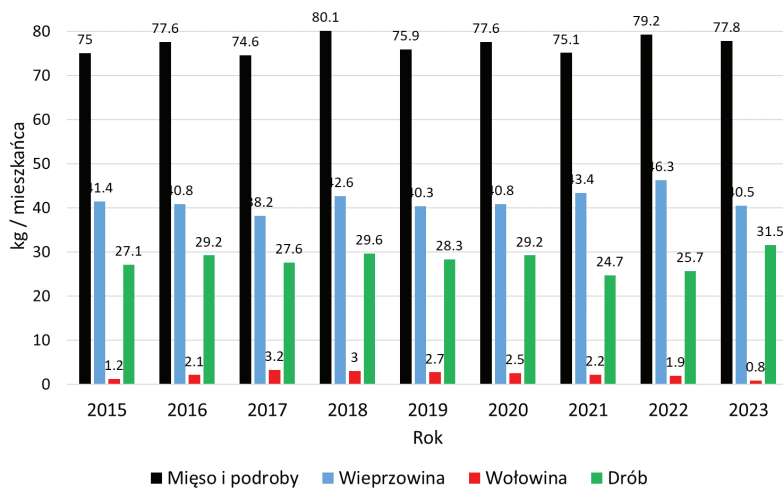
Przemysł mięsny jest kluczowym sektorem przemysłu spożywczego, a zarazem jedną z najistotniejszych gałęzi gospodarki. Na tle Europy Polska od lat należy do krajów o wysokiej konsumpcji mięsa [1, 2]. W Europie obserwuje się ogólny spadek spożycia mięsa. Według danych z 2023 roku ilość mięsa spożywanego w krajach Unii Europejskiej spadła o 3,9 kg w ciągu ostatnich czterech lat, do poziomu 64,2 kg na osobę. Głównym powodem spadku spożycia jest troska o zdrowie, wskazywana przez 47% respondentów, ale także rosnąca popularność produktów roślinnych oraz zmiany stylu życia. W 2023 roku każdy mieszkaniec Polski spożył przeciętnie 77,8 kg mięsa (rys. 1). Najczęściej spożywane było mięso drobiowe, 31,5 kg na osobę, oraz wieprzowe, 40,5 kg na osobę, podczas gdy konsumpcja wołowiny spadła do 0,8 kg na osobę [3].

Branża mięsna jest specyficzną gałęzią przemysłu zajmującą się obróbką mięsa. Produkcja mięsa wiąże się z powstawaniem znacznych ilości ścieków [4, 5]. Procesy takie jak ubój, rozbiór mięsa, a także produkcja przetworów mięsnych generują duże ilości ścieków, które zawierają nie tylko substancje organiczne, lecz także różnorodne zanieczyszczenia chemiczne i mikrobiologiczne.

W Polsce kwestie związane z wodami oraz odprowadzaniem ścieków są regulowane przede wszystkim przez ustawę Prawo wodne z dnia 20 lipca 2017 r. (t.j. Dz.U. z 2024 r., poz. 1087, z późn. zm.) [6]. Ustawa ta stanowi podstawę prawną działań związanych z ochroną zasobów wodnych oraz zapewnieniem ich odpowiedniej jakości. Szczegółowe normy dotyczące jakości ścieków przemysłowych określono w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków,

jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz.U. z 2019 r., poz. 1311) [7].

Ścieki pochodzące z zakładów przetwórstwa mięsnego charakteryzują się przede wszystkim dużym ładunkiem zanieczyszczeń organicznych, substancji biogennych oraz wysokim stężeniem zawiesiny i soli nieorganicznych. Wskaźniki BZT₅, czyli biochemicznego zapotrzebowania tlenu, oraz ChZT, czyli chemicznego zapotrzebowania tlenu, w ściekach z zakładów mięsnych mieszczą się w szerokim przedziale wartości. Przeciętna wartość BZT₅ wynosi od 1000 do 2500 g O₂/m³, natomiast wartość ChZT od 1500 do 5000 g O₂/m³. Dodatkowo ścieki te zawierają znaczne ilości pierwiastków biogennych, tj. azotu ogólnego, od 120 do 200 g/m³, oraz fosforu, 40 mg/dm³. Przyczyną obecności fosforu w ściekach jest jego występowanie w odchodach



Rys. 1. Roczne spożycie mięsa na 1 mieszkańca w Polsce w latach 2015-2023
Fig. 1. Annual meat consumption per capita in Poland in 2015-2023

zwierzęcych, a także obecność w środkach myjących stosowanych do mycia urządzeń i powierzchni zakładów przemysłu mięsnego. Ścieki tego rodzaju stanowią zagrożenie epidemiologiczne, gdyż zawierają mikroorganizmy chorobotwórcze pochodzące między innymi z układów pokarmowych zwierząt rzeźnych [8]. Ścieki z zakładów przetwórstwa mięsnego charakteryzują się specyficznym składem, wynikającym z procesów technologicznych związanych z obróbką mięsa. Wśród głównych zanieczyszczeń wyróżnia się substancje organiczne, tłuszcze, związki azotowe, zawiesiny stałe oraz krew i resztki mięsa [9]. Największy udział w ściekach mają substancje organiczne, m.in. białka, tłuszcze, resztki mięsa, krew oraz inne produkty pochodzenia organicznego. Najbardziej problematycznymi składnikami są białka i tłuszcze. Ich obecność w ściekach może prowadzić do wzrostu BZT, co zmniejsza zdolność samooczyszczania wód i prowadzi do ich degradacji.

Celem pracy była ocena efektywności obecnych systemów gospodarki wodno-ściekowej w zakładach przetwórstwa mięsnego oraz identyfikacja optymalnych metod redukcji zanieczyszczeń i ponownego wykorzystania wody, służących zwiększeniu efektywności środowiskowej. Postawione pytania badawcze były następujące:

- Jakie są główne źródła generowania ścieków o najwyższym ładunku zanieczyszczeń (ubój, mycie, chłodzenie) w analizowanych zakładach?
- Jak jest średnie stężenie tłuszczów, zawiesin, ChZT i azotu amonowego w ściekach surowych w porównaniu do norm prawnych?
- Czy zastosowane procesy (np. osad czynny, reaktory beztlenowe) zapew-

niąją stabilną redukcję związków organicznych (ChZT) i biogenów (N, P), nie dopuszczając do przekroczenia dopuszczalnych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych?

- W jakim stopniu obecna infrastruktura spełnia wymagania Najlepszych Dostępnych Technik (BAT) dla branży mięsnej?

Sposoby oczyszczania ścieków pochodzących z zakładów przetwórstwa mięsnego

Nowatorskie elementy gospodarki ściekowej w zakładach przetwórstwa mięsnego koncentrują się przede wszystkim na przejściu od modelu „oczyszczania i utylizacji” do modelu „odzysku zasobów”, obejmującego wodę i surowce, oraz na maksymalizacji samowystarczalności energetycznej. W artykule przedstawiono sposoby oczyszczania ścieków przemysłowych dla zakładów o różnej skali działania. W każdym z nich na różnych etapach technologicznych zużywa się znaczne ilości wody, która po odzyskaniu surowców i po odpowiednim oczyszczeniu jest odprowadzana do odbiornika. Na każdym etapie produkcyjnym istotne znaczenie ma także ilość energii niezbędnej do prowadzenia procesu, co wpisuje się w założenia GOZ, czyli gospodarki o obiegu zamkniętym [10, 11].

Oczyszczanie ścieków z zakładów przetwórstwa mięsnego wymaga zastosowania odpowiednich technologii, które pozwalają na usunięcie zawartych w nich zanieczyszczeń, takich jak substancje organiczne, związki azotowe, tłuszcze, białka, resztki krwi i fragmenty mięsa. Z uwagi na postać fizyczną zanieczyszczeń wyróżnia się:

- ścieki nierozpuszczalne, występujące w postaci zawiesin,

- ścieki koloidalne, występujące w postaci roztworu koloidalnego,
- ścieki rozpuszczalne, występujące w postaci roztworu.

Oczyszczanie ścieków z zakładów przetwórstwa mięsnego wymaga zastosowania zaawansowanych technologii, ponieważ tradycyjne metody często nie wystarczają do skutecznego usunięcia wszystkich zanieczyszczeń. W większości zakładów stosowane są fizyczne metody oczyszczania, takie jak sedymentacja i flotacja, jako etap wstępny mający na celu redukcję zawiesiny ogólnej, a następnie procesy fizykochemiczne oraz biologiczne.

Oczyszczanie mechaniczne polega na cedzeniu, rozdrabnianiu, sedymentacji i flotacji. Niezbędne do tego procesu są kraty, sita, rozdrabniarki, piaskowniki, osadniki i odłuszczacze.

Oczyszczanie fizykochemiczne polega na koagulacji, sorpcji, zubożeniu, utlenianiu oraz redukcji, a w wyjątkowych sytuacjach również na elektrolizie. W procesie tym wykorzystuje się urządzenia do przygotowywania i przechowywania roztworów reagentów, dozatory, mieszacze, komory reakcji, komory flokulacji oraz urządzenia do chlorowania.

Oczyszczanie biologiczne polega na wykorzystaniu mikroorganizmów do rozkładu substancji organicznych w ściekach i może być prowadzone w warunkach zbliżonych do naturalnych albo w warunkach sztucznych [12]. W pierwszym przypadku wykorzystuje się pola nawadniania, filtry gruntowe i stawy rybne. Natomiast w warunkach sztucznych stosowane są złoża biologiczne, zbiorniki z osadem czynnym oraz rowy biologiczne [13].

Zakłady mięsne, rodzaje i profil produkcji

Przemysł mięsny tworzą przedsiębiorstwa zajmujące się przetwarzaniem surowca mięsnego. Na przetwarzanie surowca mięsnego składają się m.in. ubój zwierząt rzeźnych, rozbiór mięsa na elementy, wykrawanie mięsa oraz produkcja przetworów mięsnych. Zakłady przetwórstwa mięsnego dzieli się na:

- zakłady uboju,
- zakłady rozbioru,
- zakłady przetwórstwa mięsnego [13].

Zakłady mięsne charakteryzują się zróżnicowanym poziomem technologicznym. Najwyższy poziom technologiczny reprezentują duże przedsiębiorstwa tej branży, które często łączą zakład uboju, rozbioru oraz zakład przetwórstwa. Najniższy standard wykazują małe, lokalne zakłady przetwórstwa [14].

Gospodarka ściekowa w przykładowych zakładach mięsnych

W zależności od wielkości zakładu gospodarka ściekowa w zakładach mięsnych jest zróżnicowana, od małych, rodzinnych zakładów po duże przedsiębiorstwa przetwarzające ponad 10 tys. Mg mięsa rocznie.

Małe, rodzinne przedsiębiorstwa stawiają na jakość, tradycję oraz indywidualne podejście do klienta. Przykładowy mały zakład przetwarza mięso drobiowe w ilości do 20 Mg tygodniowo, natomiast produkcja surowych wyrobów mięsnych z bydła, drobiu i trzody chlewnej wynosi do 25 Mg tygodniowo [15]. Zakład taki zazwyczaj wyposażony jest w bezodpływowy zbiornik, do którego odprowadzane są ścieki. Zbiornik i jego usytuowanie muszą być zgodne z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. z 2022 r., poz. 1225) w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [16]. W odróżnieniu od tradycyjnego systemu kanalizacji lub stacji oczyszczania ścieki nie są poddawane żadnym procesom podczyszczania. Trafiają do bezodpływowego zbiornika typu szambo

Tabela 1. Przykładowa charakterystyka ścieków nieoczyszczonych z zakładu przetwórstwa mięsnego
Table 1. Example characteristics of untreated sewage from a meat processing plant

Wskaźniki zanieczyszczeń	Jednostka	Wartość wskaźnika zanieczyszczeń	Dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń ścieków odprowadzanych do odbiornika [4]
pH	-	7,28-7,33	6,5-9
ChZT	mg O ₂ /dm ³	1640-1660	125
BZT5	mg O ₂ /dm ³	1500-1520	15
Azot amonowy	mg N·NH ₄ ⁺ /dm ³	180-190	10
Chlorki	mg Cl ⁻ /dm ³	700-800	1000
Zasadowość	mg CaCO ₃ /dm ³	670-700	-
LKT	mg CH ₃ COOH/dm ³	840-857	-

i zawierają wszystkie zanieczyszczenia, takie jak BZT5, ChZT, azot amonowy, tłuszcze czy inne substancje chemiczne. Ścieki pochodzące z zakładu mięsnego zawierają duże ilości substancji organicznych, tłuszczów, azotu amonowego i innych zanieczyszczeń. Zbiornik bezodpływowy jest regularnie monitorowany, gdyż w przypadku zbyt rzadkiego opróżniania może dojść do jego przepełnienia. W konsekwencji może to prowadzić do przedostania się ścieków do gruntu lub cieków wodnych, a następnie do zanieczyszczenia gleby i wód gruntowych [17].

W przypadku zakładu przetwarzającego duże ilości mięsa gospodarka ściekowa wygląda inaczej. Ścieki trafiają do biologiczno-chemicznej oczyszczalni ścieków przemysłowych pochodzących z uboju,

przetwórstwa mięsnego oraz mycia urządzeń i hal ubojowych. Podczas procesów produkcyjnych powstają ścieki przemysłowe, które są oczyszczane w technologii „końca rury”, a więc bez wpływu na same procesy produkcyjne. W celu zapewnienia wysokiego poziomu oczyszczania oczyszczalnia wyposażona jest w trzy powiązane ze sobą stopnie: mechaniczny, biologiczny oraz chemiczny. Oczyszczanie biologiczne pozwala w dużym stopniu zredukować substancje biogenne, takie jak azot i fosfor, odpowiedzialne za zakwity wód. Nad prawidłowym funkcjonowaniem oczyszczalni czuwa wykwalifikowany personel zakładu mięsnego. Wartości ścieków nieoczyszczonych pochodzących z omawianego przykładowego zakładu mięsnego przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 2. Przykładowa oczyszczalnia ścieków w zakładzie przetwórstwa mięsa
Fig. 2. Example of a sewage treatment plant at a meat processing plant

Badania ścieków pochodzących z omawianego zakładu wskazują na przekroczenia dopuszczalnych norm w kilku wskaźnikach. Wartość pH wskazuje, że odczyn ścieków jest obojętny i zgodny z dopuszczalnym zakresem. Znaczące przekroczenia odnotowano dla ChZT oraz BZT5. Dopuszczalna wartość ChZT wynosi 125 mg O₂/dm³, podczas gdy badane ścieki osiągały wartości od 1640 do 1660 mg O₂/dm³. Świadczy to o obecności łatwo rozkładalnych związków organicznych, które mogą powodować intensywne zużycie tlenu w odbiorniku wodnym, prowadząc do jego degradacji i powstania warunków beztlenowych. Normy zostały przekroczone również w przypadku azotu amonowego. Wynik ten świadczy o obecności dużych ilości związków azotu, które mogą być toksyczne dla organizmów wodnych oraz sprzyjać eutrofizacji wód. Stężenie chlorków mieści się w normie. Wskaźnik zasadowości oraz LKT, czyli lotnych kwasów tłuszczowych, nie mają określonych wartości granicznych, jednak ich wysokie wartości mogą świadczyć o intensywnych procesach fermentacyjnych oraz obecności rozkładających się substancji organicznych [8]. Oczyszczalnia ścieków przemysłowych oparta jest zazwyczaj na systemie A/O₂, czyli układzie anoksyczno-tlenowym. System ten jest biologiczną metodą oczyszczania ścieków wykorzystującą naprzemienne warunki anoksyczne i tlenowe. Proces skutecznie usuwa związki węgla, azotu i fosforu poprzez stymulację rozwoju odpowiednich grup bakterii. Zapewnia wysoką efektywność, a przy zasilaniu czystym tlenem zwiększa wydajność i stabilność pracy oczyszczalni. Niestety zakład nie udostępnił danych dotyczących końcowego stopnia oczyszczenia ścieków, zastosowanych metod analitycznych ani liczby prób, co ogranicza możliwość ilościowej oceny efektywności oczyszczania.

W zakładach mięsnych o dużej skali przerobu prowadzi się kompleksowy system gospodarowania ściekami, obejmujący zarówno ścieki socjalno-bytowe, ścieki technologiczne, jak i wody opadowe oraz roztopowe. Wszystkie rodzaje ścieków kierowane są do zakładowej oczyszczalni ścieków, gdzie poddawane są oczyszczaniu mechanicznemu, chemicznemu oraz biologicznemu (rys. 2).

Ścieki socjalno-bytowe, pochodzące z zaplecza sanitarnego oraz budynku administracyjnego, odprowadzane są za pomocą kanalizacji sanitarnej. System kanalizacji sanitarnej łączy się z kanalizacją technologiczną poza obszarem budynku produkcyjnego, kierując ścieki wspólnym ciągiem do oczyszczalni. Wody opadowe oraz roztopowe z terenu zakładowej

oczyszczalni ścieków i wewnętrznych placów zakładu są ujmowane do kanalizacji zakładowej razem ze ściekami bytowymi i technologicznymi.

Ścieki technologiczne powstają w wyniku zużycia wody do celów produkcyjnych oraz podczas mycia urządzeń i pomieszczeń produkcyjnych, a następnie są odprowadzane do kanalizacji za pośrednictwem systemu kratek ściekowych. Ilość wytwarzanych ścieków stanowi od 75% do 90% całkowitego zużycia wody w zakładzie. Proces oczyszczania ścieków w przykładowym zakładzie prowadzony jest w dwóch głównych etapach: mechaniczno-chemicznym oraz biologicznym. W pierwszej fazie ścieki trafiają do studni zbiorczej, skąd za pomocą systemu pomp kierowane są na sito bębnowe, które umożliwia mechaniczne usunięcie zawieszonych. Po wstępnym oczyszczeniu ścieki przepływają do zbiornika wyrównawczego, w którym następuje ich uśrednienie pod względem składu i stężenia zanieczyszczeń. Kolejnym etapem jest proces flotacji, poprzedzony przepływem ścieków przez flokulator rurowy, do którego dozowane są środki chemiczne wspomagające tworzenie kłaczków, m.in. siarczan żelaza (PIX), wodorotlenek sodu (NaOH) oraz polielektrolit anionowy. W końcowej części flokulatora ścieki są nasycone powietrzem, co umożliwia wynoszenie powstałych kłaczków na powierzchnię w wannie flotacyjnej. Osad flotacyjny zostaje mechanicznie zgarniany i odprowadzany do zbiornika osadu poflotacyjnego.

Po zakończeniu etapu mechaniczno-chemicznego ścieki kierowane są do części biologicznej oczyszczalni. Trafiają najpierw do zbiornika kontaktowego, gdzie następuje ich zmieszanie z osadem czynnym, a następnie są przepompowywane do reaktora biologicznego typu SBR (Sequencing Batch Reactor). Reaktor ten pracuje w trybie sekwencyjnym, realizując kolejne fazy procesu: napowietrzanie, mieszanie, sedymentację oraz dekantację. W jego wnętrzu zachodzą procesy biologicznego usuwania związków azotu, obejmujące nityfikację i denityfikację, oraz redukcji związków organicznych.

Bioreaktor SBR podzielony jest funkcjonalnie na dwie strefy: komorę nityfikacji o pojemności 910 m³ oraz komorę denityfikacji o pojemności 390 m³. Komory te połączone są kanałami umożliwiającymi cyrkulację ścieków pomiędzy strefą natlenioną i niedotlenioną. Proces oczyszczania realizowany jest w trzech cyklach ośmiogodzinnych, z których każdy obejmuje 6 godzin napowietrzania, 30 minut sedymentacji oraz 1 godzinę dekantacji. Parametry te są elastycznie dostosowywane w zależności od zmiennego obciążenia

oczyszczalni, ilości dopływających ścieków oraz ich właściwości sedymentacyjnych. Oczyszczone ścieki są finalnie odprowadzane do środowiska w sposób grawitacyjny poprzez studzienkę kaskadową i kanał o średnicy Ø 200 mm [18].

Zagospodarowanie osadów ściekowych

Osady ściekowe są produktem procesu oczyszczania ścieków. W zależności od pochodzenia zawierają różne substancje odżywcze oraz substancje niebezpieczne, w tym metale ciężkie i bakterie. W przypadku komunalnych osadów ściekowych zawartość substancji odżywczych jest większa, a osady te charakteryzują się także wysoką kalorycznością. W związku z tym mogą być wykorzystywane m.in. do produkcji energii i ciepła [19, 20]. Osady ściekowe mogą być stosowane w rolnictwie jako nawóz na polach uprawnych, oczywiście pod określonymi warunkami. Spalanie osadów ściekowych jest jedną z metod odzysku energetycznego. Osady ściekowe muszą wówczas charakteryzować się wartością opałową powyżej 6,5 MJ/kg. Składowanie osadów ściekowych jest najmniej proekologiczną metodą zagospodarowania. Do innych metod zagospodarowania osadów ściekowych należą dezynfekcja, piroliza, odzysk fosforu, odzysk biogazu oraz wykorzystanie w budownictwie [21].

Osady ściekowe pochodzące z zakładów przetwórstwa mięsnego, ze względu na znaczny poziom zanieczyszczenia bakteriologicznego, nie spełniają norm sanitarnych [22]. Są to odpady poprodukcyjne wymagające specjalnego traktowania z uwagi na wysoką zawartość tłuszczów, białek i innych zanieczyszczeń organicznych. Mogą być one zagospodarowane na kilka sposobów, w tym jako surowiec do produkcji nawozów lub poddawane procesom termicznego przekształcania, takim jak fermentacja, spalanie czy piroliza [23, 24].

Podsumowanie i wnioski końcowe

Efektywne zarządzanie gospodarką ściekową w zakładach przetwórstwa mięsnego stanowi istotny element zarówno w kontekście ochrony środowiska, jak i utrzymania ciągłości oraz wydajności procesów produkcyjnych. Przedsiębiorstwa tego sektora powinny inwestować w nowoczesne technologie oczyszczania ścieków, które pozwalają znacząco ograniczyć negatywne oddziaływanie na środowisko, a jednocześnie przyczyniają się do obniżenia kosztów eksploatacyjnych związanych z gospodarką ściekową.

Ze względu na zamkniętą strukturę organizacyjną zakładów przetwórstwa mięsnego, które z perspektywy przemysłowej traktowane są jako obiekty o strategicznym znaczeniu, nie udostępniają one pełnych danych pozwalających jednoznacznie wskazać wszystkie możliwe źródła zanieczyszczeń ścieków przemysłowych. Na podstawie pozyskanych danych oraz informacji literaturowych sformułowano następujące wnioski:

1. Ilość ścieków z zakładów przetwórstwa mięsnego wiąże się ze skalą konsumpcji mięsa. W Polsce konsumpcja utrzymuje się na wysokim poziomie, około 78 kg na osobę rocznie według danych za 2023 rok. Ogólnokrajowa suma ścieków generowanych wyłącznie przez zakłady przetwórstwa mięsnego nie została wyszczególniona w ogólnych raportach środowiskowych. Przeciętny zakład mięsny generuje jednak znaczne ilości ścieków, średnio około 150 m³/d.
2. Główne źródła generowania ścieków o najwyższym ładunku zanieczyszczeń w zakładach przemysłu mięsnego to procesy związane bezpośrednio z ubojem i wstępną obróbką surowca. Krew, obróbka żołądków i jelit oraz mycie tusz stanowią źródła ścieków o najwyższym ładunku organicznym.
3. Największe przekroczenia dopuszczalnych norm w produkowanych ściekach odnotowano dla BZT₅, 1520 mg O₂/m³, ChZT, 1660 mg O₂/m³, oraz azotu amonowego, 190 mg N-NH₄⁺/dm³. Po przedostaniu się do odbiornika tak obciążone ścieki mogłyby powodować intensywne zużycie tlenu, prowadząc do degradacji środowiska wodnego, powstawania warunków beztlenowych oraz eutrofizacji wód.
4. Zastosowanie odpowiednio zaprojektowanych i eksploatowanych układów hybrydowych, łączących reaktory beztlenowe z tlenowym oczyszczaniem typu osad czynny, w tym reaktory SBR, zapewnia wysoką i stabilną redukcję zanieczyszczeń organicznych, ChZT, oraz biogenów, azotu i fosforu, w ściekach z zakładów mięsnych. Kombinacja

ta jest uznawana za najlepszą praktykę BAT dla ścieków z przemysłu mięsnego, zapewniając stabilność procesu i dotrzymanie wymaganych norm jakości ścieków.

Podziękowania

Praca została opracowana w ramach subwencji statutowej Politechniki Częstochowskiej, Wydziału Infrastruktury i Środowiska.

Literatura

- [1] Kapusta F. (2013). Wybrane zagadnienia produkcji i przetwórstwa mięsa w Polsce w pierwszej dekadzie XXI wieku. *Nauki Inżynierskie i Technologiczne. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 2(9), 67-84.
- [2] <https://foodfakty.pl/spozycie-i-postrzeganie-miesa-przez-polakow-badanie> (dostęp: 02.02.2026 r.).
- [3] Roczniki Statystyczne Rolnictwa za lata 2016-2024. GUS.
- [4] Petridi A., Fragkouli D.N., Mejias L., Paredes L., Bistue M., Boukouvalas Ch., Kekes T., Krokida M., Papadaki S. (2024). Assessing the Overall Sustainability Performance of the Meat Processing Industry Before and After Wastewater Valorization Interventions: A Comparative Analysis. *Sustainability*, 16(22), 9811.
- [5] Stachurski A., Delgorte F., Muszyński A. (2024). Water reuse from wastewater: Experiences and challenges of implementing a full-scale water reuse system in a food industry plant. *Journal of Water Process Engineering*, 59, 104994.
- [6] Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. (Dz.U. z 2019 r., poz. 1311) w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych.
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz.U. z 2019 r., poz. 1311).
- [8] Kwarciak-Kozłowska A., Bohdziewicz J., Mielczarek K. (2011). Wpływ zmiany stężenia osadu granulowanego na efektywność beztlenowego oczyszczania ścieków generowanych w przemyśle mięsnym. *Inżynieria Ekologiczna*, 24, 89-98.

- [9] Rodziewicz J., Mielczarek A., Bryszewski K. (2017). Charakterystyka ścieków z zakładu utylizacji odpadów pochodzenia zwierzęcego. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 20(3), 359-370.
- [10] Szymańska E.J., Mroczek R., Drózd J. (2024). A Closed-Loop Economy in the Meat Industry for Generating Alternative Energy from Biogas Plants. *Energies*, 17(23), 6172.
- [11] Niemiec M., Zuzek D., Komorowska M., Gorczyca A., Afilgan A., Abduvasikov A., Molik E., Suder M., Górski R. (2026). Comparison of Energetic Potential of Disposal of Slaughterhouse Waste by Incineration and Methanogenesis. *Energies*, 19(8), 1942.
- [12] Srok E., Kamiński W., Bohdziewicz J. (2004). Biological treatment of meat industry wastewater. *Desalination*, 162, 85-91.
- [13] Olszewski A. (2002). *Technologia przetwórstwa mięsa*. Warszawa.
- [14] Kasjaniuk B. (2019). *Bezpieczna praca w masarni i ubojni*. Warszawa.
- [15] Makowska M., Spychała M., Pawlak M. (2021). Efficacy and reliability of wastewater treatment technology in small meat plants. *Desalination and Water Treatment*, 221, 1-10.
- [16] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2022 r., poz. 1225).
- [17] Polityka ściekowa zakładu mięsnego w Tarnowskich Górach (dostęp: marzec 2025 r.).
- [18] Decyzja RO-IV.6222.4.2021 Starosty Pszczyńskiego z dnia 10 maja 2023 r.
- [19] Kaler T. (2021). Osady ściekowe, wymagania i możliwości zagospodarowania. *Wiedza i Praktyka*.
- [20] Wojtasiak M. (2024). Zagospodarowanie osadów ściekowych. *Nafta-Gaz*, 10, 646-652.
- [21] 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).
- [22] Zwoździak J., Dziewa M., Szałata Ł., Kwiecińska K., Kuske M., Piechocka A., Bartosik M. (2016). Lista substancji i związków chemicznych, które są przyczyną uciążliwości zapachowej. *Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na zlecenie Ministerstwa Środowiska*.
- [23] Kowalski Z., Kulczycka J., Makara A., Salomone R. (2023). Industrial Symbiosis for Sustainable Management of Meat Waste: The Case of Smiłowo Eco-Industrial Park, Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 5162.
- [24] Stępień A., Wojtkowiak K., Grzywińska-Rapca M., Pawluczuk J. (2022). Meat Processing Waste as a Source of Nutrients and Its Effect on the Physicochemical Properties of Soil. *Sustainability*, 14(3), 1341.

