

Znaczenie kompostowania w systemach gospodarki odpadami organicznymi w kontekście zrównoważonego rozwoju

The importance of composting in organic waste management systems in the context of sustainable development

PATRYCJA ŻEŚLAWSKA, IWONA ZAWIEJA, MAŁGORZATA WORWAĞ

DOI: 10.17512/INSTAL.2026.04.03

Kompostowanie stanowi istotny element systemów gospodarki odpadami organicznymi, wpisując się w podstawowe założenia zrównoważonego rozwoju oraz gospodarki o obiegu zamkniętym. Rosnąca ilość bioodpadów generowanych przez gospodarstwa domowe, rolnictwo, przemysł oraz sektor rolno-spożywczy stanowi poważne wyzwanie środowiskowe i ekonomiczne, wymagające wdrażania efektywnych i przyjaznych dla środowiska metod zagospodarowania. W tym kontekście kompostowanie odgrywa kluczową rolę jako proces biologiczny umożliwiający przetwarzanie odpadów organicznych w wartościowy produkt, jakim jest kompost, wykorzystywany m.in. w rolnictwie i rekultywacji gleb. Zastosowanie kompostowania przyczynia się do ograniczenia ilości odpadów kierowanych na składowiska. W wymiarze ekonomicznym kompostowanie stanowi alternatywę dla kosztownych metod unieszkodliwiania odpadów, umożliwiając zarówno ograniczenie kosztów ich przetwarzania, jak i odzyskanie wartościowego źródła związków biogennych w formie ustabilizowanego kompostu. Ponadto rozwój systemów kompostowania sprzyja wdrażaniu innowacyjnych rozwiązań technologicznych, tworzeniu nowych miejsc pracy oraz wzmocnieniu lokalnych systemów gospodarowania odpadami. Integracja idei kompostowania z założeniami polityki środowiskowej i strategią zrównoważonego rozwoju przyczynia się do zwiększenia efektywności zarządzania bioodpadami oraz realizacji celów środowiskowych, społecznych i gospodarczych. Celem artykułu jest przedstawienie znaczenia kompostowania jako elementu systemu gospodarki odpadami organicznymi w kontekście zrównoważonego rozwoju, ze szczególnym uwzględnieniem jego roli w ograniczaniu negatywnego wpływu bioodpadów na środowisko, wspieraniu gospodarki o obiegu zamkniętym oraz poprawie ekologicznej i ekonomicznej efektywności systemów zarządzania odpadami.

Słowa kluczowe: odpady organiczne, kompostowanie, zrównoważony rozwój, gospodarka o obiegu zamkniętym, ekologia, gospodarka odpadami

Composting is a crucial element of organic waste management systems, aligning with the fundamental principles of sustainable development and the circular economy. The growing amount of biowaste generated by households, agriculture, industry, and the agri-food sector poses a significant environmental and economic challenge, requiring the implementation of effective and environmentally friendly management methods. In this context, composting plays a key role as a biological process enabling the transformation of organic waste into a valuable product: compost, used in agriculture and soil remediation, among other applications. Composting contributes to reducing the amount of waste sent to landfills. Economically, composting offers an alternative to costly waste disposal methods, enabling both reduced waste processing costs and the acquisition of a valuable source of nutrients in the form of stabilized compost. Furthermore, the development of composting systems promotes the implementation of innovative technological solutions, the creation of new jobs, and the strengthening of local waste management systems. Integrating the concept of composting with environmental policy and sustainable development strategies contributes to increasing the efficiency of bio-waste management and achieving environmental, social, and economic goals. The aim of this article is to present the importance of composting as an element of the organic waste management system in the context of sustainable development, with particular emphasis on its role in reducing the negative impact of bio-waste on the environment, supporting the circular economy, and improving the ecological and economic efficiency of waste management systems. Keywords: organic waste, composting, sustainable development, circular economy, ecology, waste management

mgr inż. Patrycja Żeślawska (ORCID: 0009-0001-1764-6292), Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska, ul. J.H. Dąbrowskiego 69, 42-201 Częstochowa, Polska, Autor korespondencyjny: e-mail: patrycja.zeslawska@pcz.pl; dr hab. inż. Iwona Zawieja, prof. PCz (ORCID: 0000-0002-4480-8736), Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska, ul. J.H. Dąbrowskiego 69, 42-201 Częstochowa, Polska, e-mail: iwona.zawieja@pcz.pl; dr hab. Małgorzata Worwağ (ORCID: 0000-0001-9029-8944), Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska, ul. J. H. Dąbrowskiego 69, 42-201 Częstochowa, Polska, e-mail: malgorzata.worwag@pcz.pl

Charakterystyka odpadów organicznych

Odpady organiczne definiuje się jako odpady stałe lub ciekłe, w których udział składników organicznych przekracza 50% w przeliczeniu na suchą masę, a ich niewłaściwe zagospodarowanie może prowadzić do negatywnego oddziaływania na środowisko. Odpady, w których zawartość substancji organicznych wynosi od 5 do 50%, zalicza się do odpadów mineralno-organicznych. Większość odpadów organicznych pochodzi z produkcji zwierzęcej, natomiast około 20% stanowią odpady z upraw zbóż, ziemniaków, warzyw i owoców. Pozostałe odpady pochodzą z gospodarstw domowych, ścieków i innych źródeł. W tej grupie znajdują się również odchody zwierzęce, w tym gnojowica, która może być wartościowym nawozem organicznym. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe odpady organiczne mogące stanowić substrat mieszanek kompostowych, tj. pomiot kurzy, odpady spożywcze oraz słomę. Odpady organiczne stanowią znaczną część całkowitej masy odpadów komunalnych i przemysłowych, cechując się zdolnością do biodegradacji pod wpływem aktywności mikroorganizmów. Odpady te zawierają duże ilości substancji organicznych, w tym węglowodanów, białek i tłuszczów, co wpływa na ich podatność na rozkład zarówno tlenowy, jak i beztlenowy. W kontekście fizykochemicznym odpady organiczne charakteryzują się wysoką zawartością wilgoci oraz znaczną ilością składników odżywczych, m.in. azotu, fosforu i potasu, istotnych z punktu widzenia wykorzystania ich jako surowca do produkcji nawozów organicznych. Parametry takie jak stosunek C:N, zawartość substancji lotnych oraz ogólna zawartość materii organicznej są kluczowe w ocenie biodegradowalności i jakości bioodpadów wykorzystywanych w biologicznych procesach ich przetwarzania. Odpady organiczne, w wyniku niekontrolowanego rozkładu na składowiskach, generują znaczne ilości gazów cieplarnianych, w szczególności metanu. Z tego względu ich selektywne zbieranie oraz przetwarzanie w procesach takich jak kompostowanie czy fermentacja beztlenowa stanowią kluczowy element nowoczesnej gospodarki odpadami, ograniczający ich negatywne oddziaływanie na środowisko. W badaniach dotyczących składu frakcji organicznej odpadów komunalnych (OFMSW – Organic Fraction of Municipal Solid Waste) wykazano, że zmienność składu chemicznego bioodpadów zależy od typu gospodarki odpadami oraz zwyczajów konsumpcyjnych populacji, co ma bezpo-

średni wpływ na ich rozkład i możliwości odzysku surowców lub energii. Odpady o wysokiej zawartości łatwo rozkładalnych związków organicznych zwykle ulegają szybszym procesom rozkładu, co jest istotne zarówno dla procesów kompostowania, jak i produkcji biogazu. Ponadto odpady organiczne stanowią potencjalne zasoby w kontekście odzysku biosurowców, stanowiących ważną wartość dodaną danej technologii przetwarzania. Oprócz produkcji kompostu i biogazu bioodpady mogą być źródłem związków bioaktywnych i innych surowców wykorzystywanych w różnych sektorach przemysłowych, co wpisuje się w ideę gospodarki o obiegu zamkniętym. Na rysunku 1 przedstawiono wybrane odpady organiczne.

Odpady organiczne pochodzące z produkcji żywności, rolnictwa i gospodarstw domowych stanowią jedną z największych i najbardziej problematycznych frakcji odpadów na świecie, gdyż są silnie biodegradowalne i przy niewłaściwym zagospodarowaniu przyczyniają się do poważnych negatywnych skutków środowiskowych.

masa roślinna, obornik czy resztki z przetwórstwa rolno-spożywczego, a także osady ściekowe oraz inne odpady przemysłowe o wysokiej zawartości materii organicznej. Ich skład fizykochemiczny determinuje zarówno biodegradowalność, jak i potencjał generowania biogazu lub uzyskania gotowego kompostu o wartościach agronomicznych. Badania wskazują, że szczegółowa charakterystyka tych odpadów, obejmująca m.in. zawartość składników odżywczych, stosunek C:N oraz zawartość makroskładników N, P, K, Ca, Mg i S, jest niezbędna do efektywnego projektowania procesów ich przetwarzania oraz maksymalizacji produkcji energii lub wartościowego nawozu organicznego. Przyczynia się to do recykulacji zasobów w gospodarce odpadami.

Według danych GUS przeciętny Polak w 2024 roku wytworzył średnio 377 kg odpadów komunalnych, co daje łącznie około 14,2 mln ton odpadów. Spośród tych odpadów około 18,3% trafiło do recyklingu, 12,8% zostało kompostowanych lub poddanych fermentacji, natomiast 30% przekazano na składowiska.



Rys. 1. Odpady organiczne, kolejno: a) odpady spożywcze, b) słoma pszenna, c) pomiot kurzy
Fig. 1. Organic waste, respectively: a) food waste, b) wheat straw, c) chicken manure

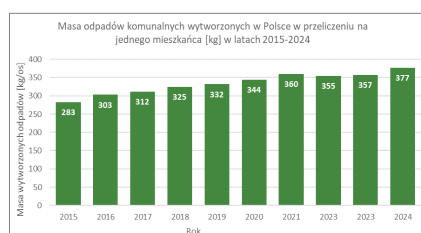
Odpady organiczne i ich zagospodarowanie

Frakcja organiczna stałych odpadów komunalnych (OFMSW), obejmująca przede wszystkim resztki żywności i odpady zielone, stanowi znaczącą część masy odpadów generowanych w miastach, w wielu regionach świata sięgając nawet połowy ich całkowitej masy. Jej skład ulega jednak dużej zmienności w zależności od warunków lokalnych, nawyków konsumpcyjnych i sposobu zbiórki. Różnice w udziale węgla organicznego, białek, tłuszczów i wody mają kluczowe znaczenie dla optymalizacji procesów odzysku energii i materii z tych odpadów.

Oprócz odpadów komunalnych odpady organiczne obejmują także pozostałości pochodzenia rolniczego, takie jak bio-

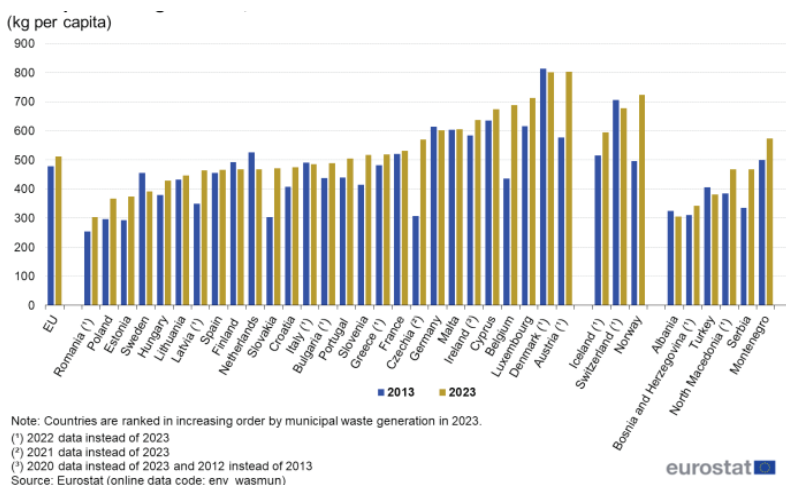
Według raportu IOŚ-PIB w 2024 r. średnio 97 kg bioodpadów kuchennych na osobę trafiało rocznie do kompostowników domowych. Dane z raportu wskazują, że najwięcej odpadów kompostowano w porze letniej, a średnia wyniosła wówczas 104 kg/os. rocznie. Na rysunku 2 przedstawiono dane dotyczące masy odpadów komunalnych wytworzonych w Polsce w przeliczeniu na jednego mieszkańca [kg/os] w latach 2015–2024. Dane wskazują na istotny wzrost produkcji odpadów komunalnych w Polsce. W analizowanym okresie ilość odpadów zwiększyła się o 94 kg na osobę w ciągu 9 lat. Przedstawione dane pokazują wyraźny trend wzrostowy w zakresie wytwarzania odpadów. Należy podkreślić, że omawiane dane dotyczą wyłącznie odpadów komunalnych, czyli tych powstających

w gospodarstwach domowych. Stanowią one jedynie około 11% całkowitej ilości odpadów wytwarzanych w kraju. W pozostałych 89% znajdują się m.in. odpady z sektora rolnego, takie jak obornik, gnojowica i odpady opakowaniowe, a także odpady przemysłowe, np. chemiczne, metalowe czy energetyczne. W sektorze rolno-spożywczym znaczące ilości odpadów generują procesy produkcji i przetwórstwa żywności, przemysł mięsny, mleczarski oraz przetwórstwo warzyw i owoców. Szacuje się, że około 30% wyprodukowanej żywności nie zostaje skonsumowane, co generuje ogromne ilości odpadów spożywczych. Straty te powstają zarówno na etapie produkcji, jak i podczas przetwarzania, dystrybucji oraz konsumpcji. Na rysunku 2 przedstawiono trend dotyczący masy odpadów wytworzonych w Polsce w latach 2015–2024.



Rys. 2. Masa odpadów komunalnych wytworzonych w Polsce w latach 2015-2024 [kg/os] na podstawie danych GUS
Fig. 2. Waste generated in Poland in 2015-2024 [kg/person] based on data from the Central Statistical Office

Na rysunku 3 zaprezentowano dane dotyczące ilości odpadów komunalnych wytwarzanych w poszczególnych krajach, wyrażone w kilogramach na mieszkańca. Przedstawione dane pochodzą z serwisu Eurostat i obejmują lata 2013 oraz 2023. Na ich podstawie można stwierdzić, że w 2023 roku poziom wytwarzania odpadów był wyższy niemal we wszystkich analizowanych krajach w porównaniu z rokiem 2013.



Rys. 3. Odpady komunalne generowane w 2013 i 2023 roku
Fig. 3. Municipal waste generated in 2013 and 2023

Kompostowanie jako metoda zagospodarowania odpadów organicznych

W skali globalnej produkcja żywności stanowi jedno z głównych źródeł powstawania odpadów organicznych, których ilość szacuje się na około 1,3 miliarda ton rocznie. Dodatkowo działalność rolnicza generuje około 9 miliardów ton pozostałości organicznych, obejmujących m.in. słomę, obornik oraz inne odpady pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Kompostowanie stanowi jedną z podstawowych metod odzysku materii organicznej z odpadów stałych, prowadząc do uzyskania dojrzałego kompostu o właściwościach nawozowych, możliwego do zastosowania jako nawóz organiczny. Kompostowanie to proces bioutleniania prowadzony w kontrolowanych warunkach, w trakcie którego frakcje organiczne ulegają rozkładowi przez mikroorganizmy, głównie bakterie i grzyby, do wody, dienu węgla i składników mineralnych. Proces ten obejmuje mineralizację i humifikację odpadów, co prowadzi do zmniejszenia ich objętości i masy. W trakcie kompostowania dochodzi do enzymatycznego rozkładu złożonych polimerów, takich jak lignina czy celuloza, do rozpuszczalnych związków organicznych i cukrów, które stanowią pożywkę dla mikroorganizmów.

Kompostowanie odpadów organicznych jest procesem przebiegającym etapowo i obejmującym szereg następujących po sobie operacji technologicznych. W pierwszej kolejności odpady poddawane są sortowaniu oraz przesiewaniu, a następnie wstępnej obróbce w celu uzyskania jednorodnej frakcji. Kolejnym etapem jest mieszanie i homogenizacja materiału, co zapewnia optymalne warunki dla rozwoju mikroorganizmów. Właściwy proces kompostowania zachodzi w fazie aktywnej, po której następuje faza dojrze-

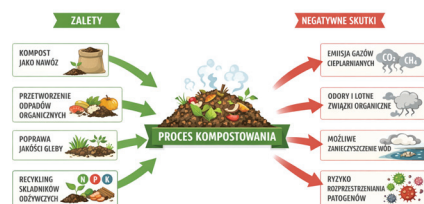
wania i stabilizacji kompostu. Efektem procesu jest gotowy, ustabilizowany kompost przeznaczony do dalszego wykorzystania. Na rysunku 4 przedstawiono etapy procesu kompostowania.



Rys. 4. Etapy procesu kompostowania
Fig. 4. Stages of the composting process

W przypadku kompostowania niezbędne jest napowietrzanie masy kompostowanej w celu zapewnienia dostępu tlenu dla mikroorganizmów. W trakcie procesu zachodzą istotne zmiany zarówno w składzie mikroflory, jak i temperaturze masy kompostowanej. Na początku kompostowania mikroorganizmy rozkładające węglowodany i proste białka powodują wzrost temperatury do około 45°C. Ich aktywność utrzymuje się zwykle od 12 do 48 godzin, po czym wzrost temperatury prowadzi do dezaktywacji i obumierania mezofiliów. W następnej fazie dominują organizmy termofilne, które wytwarzają dodatkowe ciepło, podnosząc temperaturę kompostu do około 55°C. Przy wartościach powyżej 75°C procesy biologiczne praktycznie ustają. Wyższa temperatura przyspiesza również rozkład celulozy, hemicelulozy, białek i tłuszczów, co zwiększa efektywność całego procesu. Do odpadów organicznych nadających się do kompostowania zalicza się szeroką frakcję organiczną stałych odpadów komunalnych (OFMSW), obejmującą m.in. odpady żywnościowe, odpady zielone i ogrodowe, osady ściekowe, obornik oraz poferment, czyli stałą pozostałość powstającą po procesie fermentacji beztlenowej (AD – anaerobic digestion). W praktyce najczęściej kompostowanym materiałem są odpady ogrodowe zbierane selektywnie u źródła. Zgodnie z danymi Amerykańskiej

Agencji Ochrony Środowiska (EPA), w Stanach Zjednoczonych kompostowaniu poddawane jest obecnie jedynie około 0,4% odpadów żywnościowych, podczas gdy w przypadku odpadów ogrodowych odsetek ten wynosi około 63%. Kompostowanie jest metodą zagospodarowania odpadów organicznych, która cechuje się licznymi korzyściami środowiskowymi, technologicznymi i ekonomicznymi, jednak, jak każda technologia, ma również pewne ograniczenia i negatywne aspekty. Na rysunku 5 przedstawiono zalety i wady procesu kompostowania. Do głównych zalet należą m.in. wytwarzanie kompostu oraz przetwarzanie odpadów organicznych w użyteczny produkt. Z kolei do wad należy możliwość emisji odorów, lotnych związków organicznych (LZO), amoniaku czy metanu. Istnieje również ryzyko przenoszenia patogenów lub zanieczyszczenia wód.



Rys. 5. Zalety i wady procesu kompostowania
Fig. 5. Advantages and disadvantages of the composting process

Aspekty ekologiczne i znaczenie kompostowania w zrównoważonym rozwoju

Skuteczne zarządzanie odpadami wiąże się z istotnymi korzyściami ekonomicznymi, zarówno bezpośrednimi, jak i pośrednimi. Zastosowanie nowoczesnych technologii w gospodarce odpadami, takich jak recykling oraz kompostowanie, umożliwia redukcję kosztów operacyjnych na poziomie 20–30%. Proces kompostowania odpadów organicznych stanowi jedną z najbardziej ekologicznych metod zarządzania odpadami. Redukuje ilość odpadów trafiających na składowiska, a jednocześnie umożliwia odzysk składników odżywczych, których ponowne wprowadzenie do gleby wpisuje się w cele gospodarki o obiegu zamkniętym i minimalizacji odpadów. Kierowanie odpadów organicznych do kompostowania znacząco zmniejsza ich udział w strumieniu odpadów kierowanych na składowiska, dzięki czemu ograniczona zostaje emisja metanu, który w dużych ilościach powstaje podczas beztlenowego rozkładu materii na składowiskach. Kompostowanie jako proces tlenowy redukuje ten problem. Zastosowanie kompostu w rolnictwie,

ogrodnictwie czy rekultywacji terenów przyczynia się do poprawy biologicznych, chemicznych i fizycznych właściwości gleby. Kompost zwiększa zawartość materii organicznej, poprawia strukturę gleby, zwiększa jej zdolność retencji wody oraz wspiera rozwój korzystnej mikroflory glebowej, co w efekcie wpływa na produktywność roślin. Kompostowanie wspiera recykling makroskładników, takich jak azot, fosfor i potas, które wracają do gleby, zamiast zostać utracone wraz z odpadami. Zastosowanie kompostu zmniejsza zależność od syntetycznych nawozów mineralnych, których produkcja jest energochłonna i związana z emisjami gazów cieplarnianych. Ograniczenie stosowania nawozów sztucznych minimalizuje także ryzyko eutrofizacji wód powierzchniowych. Kompost poprawia zdolność gleby do zatrzymywania wody, co zwiększa odporność systemów rolnych i terenów zielonych na suszę oraz intensywne opady. Dzięki zwiększonej infiltracji wody i redukcji spływu powierzchniowego sprzyja ochronie zasobów wodnych i stabilizacji procesów hydrologicznych. Ponadto kompostowanie jest integralnym elementem zrównoważonego systemu gospodarki odpadami, przyczyniając się do ekonomicznego wykorzystania zasobów biologicznych i wspierając cele zrównoważonego rozwoju. Badania wykazują, że rozwój i optymalizacja kompostowania oraz innych metod biologicznego przetwarzania odpadów są kluczowe dla ochrony środowiska i realizacji polityki zrównoważonego rozwoju na poziomie lokalnym i globalnym.

Podsumowanie i wnioski

W świetle rosnącej ilości odpadów organicznych oraz ich wpływu na środowisko i gospodarkę konieczne jest wyraźne zdefiniowanie najważniejszych przesłanek przemawiających za wdrażaniem systemów biologicznego przetwarzania, takich jak kompostowanie:

1. Produkcja odpadów komunalnych, w tym organicznych, jest wysoka i nadal wzrasta. W 2024 roku średnia ilość odpadów komunalnych wyniosła ok. 377 kg/os., co stanowi znaczące obciążenie dla systemów gospodarki odpadami i środowiska.
2. Straty żywności i jej nadprodukcja generują dodatkowe ilości odpadów organicznych. Nieskonsumowanie części wyprodukowanej żywności przyczynia się do marnotrawstwa zasobów oraz powstawania kolejnych strumieni odpadów, które wymagają efektywnego przetworzenia.

3. Konieczność wdrożenia efektywnych metod zagospodarowania odpadów organicznych, w tym selektywnej zbiórki i biologicznego przetwarzania, wynika z potrzeby ograniczenia składowania odpadów oraz związanych z tym negatywnych skutków.
4. Kompostowanie wykazuje wiele pozytywnych aspektów, w tym redukcję ilości odpadów kierowanych na składowiska, poprawę jakości gleby, odzysk składników odżywczych oraz ograniczenie stosowania nawozów sztucznych.
5. Istnieją również negatywne aspekty procesu, takie jak emisja odorów czy potencjalna emisja amoniaku, co wskazuje na potrzebę wdrażania metod łączonych, np. kontrolowanego napowietrzania, biofiltracji lub innych wysoko efektywnych technologii ograniczających uciążliwości zapachowe.
6. Kompostowanie wpisuje się w ideę zrównoważonego rozwoju oraz cele gospodarki o obiegu zamkniętym, łącząc aspekty środowiskowe, ekonomiczne i społeczne poprzez efektywne wykorzystanie zasobów oraz ograniczanie negatywnych skutków działalności człowieka.

W konsekwencji, ze względu na narastającą produkcję odpadów organicznych oraz ich wpływ na środowisko, konieczne jest stosowanie nowoczesnych i zintegrowanych metod zagospodarowania. Kompostowanie, jako proces niosący liczne korzyści, stanowi fundament systemów biologicznego przetwarzania odpadów, jednak jego efektywność wymaga uzupełnienia o rozwiązania minimalizujące negatywne oddziaływania, w tym uciążliwości odorowe. Włączenie takich rozwiązań technologicznych przyczynia się do realizacji zasad zrównoważonego rozwoju i poprawy jakości środowiska.

Podziękowania

Artykuł opracowany w ramach działań statutowych BS/PB-400-301/26.

Literatura

- [1] Rosik-Dulewska, C. (2015). Podstawy gospodarki odpadami. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [2] Campuzano, R., & González-Martínez, S. (2016). Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: A review. *Waste Management*, 54, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.016>
- [3] Głowacka, A., Bering, S., Bogusławski, B., Mazur, J., & Tarnowski, K. (2024). Management of food waste containing animal protein in the process of liming and aerobic composting. *Instal*, (12), 43–47. <https://doi.org/10.36119/15.2024.12.8>
- [4] Cobo, N., López, A., & Lobo, A. (2008). Biodegradation stability of organic solid waste cha-

- acterized by physico-chemical parameters. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 109, 153–162. <https://doi.org/10.2495/WMO80171>
- [5] Kadir, A. A., Azhari, N. W., & Jamaludin, S. N. (2016). An overview of organic waste in composting. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 47, Article 05025). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20164705025>
- [6] Parra-Pacheco, B., Cruz-Moreno, B. A., Aguirre-Becerra, H., García-Trejo, J. F., & Feregrino-Pérez, A. A. (2024). Bioactive compounds from organic waste. *Molecules*, 29(10), 2243. <https://doi.org/10.3390/molecules29102243>
- [7] Nordahl, S. L., Preble, C. V., Kirchstetter, T. W., & Scown, C. D. (2023). Greenhouse gas and air pollutant emissions from composting. *Environmental Science & Technology*, 57(6), 2235–2247. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05846>
- [8] Bandini, F., Taskin, E., Bellotti, G., Vaccari, F., Misci, C., Guerrieri, M. C., Cocconcelli, P. S., & Puglisi, E. (2022). The treatment of the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) as a possible source of micro- and nano-plastics and bioplastics in agroecosystems: A review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9, Article 4. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00269-w>
- [9] Rahman, S. U., Yousaf, S., Ilyas, M., Riaz, M., Su, Y., Ayub, G., Machado da Silva Acioly, T., Al Asmari, A. F., Islam, S., & Ibáñez-Arancibia, E. (2025). Comparative assessment of composting methods for the organic fraction of municipal solid waste: Physicochemical insights. *International Journal of Environmental Health Research*, Advance online publication, 1–16. <https://doi.org/10.1080/09603123.2025.2557424>
- [10] Balaganesh, P., Vasudevan, M., & Natarajan, N. (2022). Evaluating sewage sludge contribution during co-composting using cause-evidence-impact analysis based on morphological characterization. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(34), 51161–51182. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19246-3>
- [11] Stefanescu, M., Nechifor, G., Bumbac, C., Ionescu, I., & Tiron, O. (2018). Improvement of active biological sludge quality for anaerobic digestion phase in the wastewater treatment plant by ultrasonic pretreatment. *Revista de Chimie*, 69(1), 31–33. <https://doi.org/10.37358/RC.18.1.6039>
- [12] Glowacka, A., Bering, S., Mazur, J., Tarnowski, K., Boguslawski, B., & Bulhak, P. (2022). Catering waste as organic matter potential for compost production. *Instal*, (7–8), 66–70. <https://doi.org/10.36119/15.2022.7-8.9>
- [13] Serwis Samorządowy PAP. (2025, June 30). GUS: średnio 376 kg odpadów wytworzył przeciętny Polak w 2024 r. Retrieved January 11, 2026, from <https://samorząd.pap.pl/kategoria/srodowisko/gus-średnio-376-kg-odpadow-wytworzyl-przecietny-polak-w-2024-r>
- [14] Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy. (2025, February 14). Bioodpady komunalne posegregowane i poddawane recyklingowi u źródła w Polsce 2024 [Raport]. <https://ios.edu.pl/wp-content/uploads/2025/03/bioodpady-komunalne-posegregowane-i-poddawane-recyklingowi-u-zrodla-w-polsce-2024-r.pdf>
- [15] Borkowska, M., & Kruszynski, M. (2019). Ekologia odpadów opakowaniowych w rolnictwie. *Ekonomia i Organizacja Logistyki*, 4(1), 5–15. <https://doi.org/10.22630/EIOL.2019.4.1.1>
- [16] Gaur, V. K., Sharma, P., Sirohi, R., Awasthi, M. K., Dussap, C.-G., & Pandey, A. (2020). Assessing the impact of industrial waste on environment and mitigation strategies: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials*, 398, 123019. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123019>
- [17] Bialecka, B. (2008). Gospodarka odpadami z przemysłu rolno-spożywczego w województwie śląskim. *Problemy Ekologii*, 12, 28–32.
- [18] Pandey, A. K., Thakur, S., Mehra, R., Kaler, R. S. S., Paul, M., & Kumar, A. (2025). Transforming agri-food waste: Innovative pathways toward a zero-waste circular economy. *Food Chemistry: X*, 28, 102604. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102604>
- [19] Główny Urząd Statystyczny. (n.d.). GUS – Bank Danych Lokalnych: Metadane podgrupy 223 (Odpady komunalne). Retrieved January 11, 2026, from <https://bdل.stat.gov.pl/bdl/metadane/podgrupy/223>
- [20] Eurostat. (n.d.). Municipal waste statistics. Statistics Explained. Retrieved January 11, 2026, from https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics
- [21] Cesaro, A., Belgiojorno, V., & Guida, M. (2015). Compost from organic solid waste: Quality assessment and European regulations for its sustainable use. *Resources, Conservation and Recycling*, 94, 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.11.003>
- [22] Raza, S., & Ahmad, J. (2016). Composting process: A review. *International Journal of Biological Research*, 4(2), 102–104. <https://doi.org/10.14419/ijbr.v4i2.6354>
- [23] Pluciennik-Koropczuk, E., & Myszograj, S. (2020). Kompostowanie komunalnych osadów ściekowych. In J. Bień, M. Gromiec, & L. Pawłowski (Eds.), *Ocena gospodarki ściekowo-osadowej w Polsce* (pp. 165–178) (Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Vol. 166). Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk.
- [24] Manyapu, V., Lepcha, A., Sharma, S. K., & Kumar, R. (2022). Chapter One – Role of psychrotrophic bacteria and cold-active enzymes in composting methods adopted in cold regions. In G. M. Gadd & S. Sariaslani (Eds.), *Advances in Applied Microbiology* (Vol. 121, pp. 1–26). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2022.08.001>
- [25] Manea, E. E., Bumbac, C., Dinu, L. R., Bumbac, M., & Nicolescu, C. M. (2024). Composting as a sustainable solution for organic solid waste management: Current practices and potential improvements. *Sustainability*, 16(15), 6329. <https://doi.org/10.3390/su16156329>
- [26] Wróblewski, P. (2018). Badanie sprawności kompostowania wybranych odpadów organicznych [Unpublished thesis].
- [27] Chan, M. T., Selvam, A., & Wong, J. W. C. (2016). Reducing nitrogen loss and salinity during struvite food waste composting by zeolite amendment. *Bioresource Technology*, 200, 838–844. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.093>
- [28] Smith, S. J., Satchwell, A. J., Kirchstetter, T. W., & Scown, C. D. (2021). The implications of facility design and enabling policies on the economics of dry anaerobic digestion. *Waste Management*, 128, 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.048>
- [29] Żary-Sikorska, E. (2024). Odpady z przetworstwa owoców i warzyw – charakterystyka problemu. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 19(1.1), 93–106. <https://doi.org/10.14597/infraeco.2024.007>
- [30] Li, J., Liang, L. N., Li, X., & Yang, H. F. (2014). Effects of compost amendment on soil chemical and biological properties in greenhouse soil. *Acta Horticulturae*, 1018, 195–202. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1018.19>
- [31] Bondi, C., Castellini, M., & Iovino, M. (2022). Compost amendment impact on soil physical quality estimated from hysteretic water retention curve. *Water*, 14(7), 1002. <https://doi.org/10.3390/w14071002>

XII PODLASKA KONFERENCJA CIEPŁOWNICZA

8–9 październik 2026 / Warchały



POLSKIE ZRZESZENIE
INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW
SANITARNYCH
Oddział Białystok