



DOI: <https://doi.org/10.14597/infraeco.2024.007>

ODPADY Z PRZETWÓRSTWA OWOCÓW I WARZYW - CHARAKTERYSTYKA PROBLEMU

FRUIT AND VEGETABLE PROCESSING WASTE - CHARACTERIZATION OF THE ISSUE

*Ewa ŻARY-SIKORSKA*¹

STRESZCZENIE

Odpady z przetwórstwa owoców i warzyw stanowią znaczący problem środowiskowy i gospodarczy. Każdego roku globalnie marnuje się około 1,3 miliarda Mg żywności z czego znaczna część pochodzi z przetwórstwa owoców i warzyw. W Europie odpady te mogą stanowić do 30% całego strumienia odpadów poprodukcyjnych. W Polsce jest to szacunkowo od 5 do 9 mln Mg/rok. Odpady te pochodzą głównie z przetwórstwa ziemniaków, jabłek i buraków cukrowych. Skuteczne zarządzanie odpadami, poprzez wytwarzanie z nich biogazu i kompostu, przynosi korzyści ekologiczne i ekonomiczne, zmniejsza emisje gazów cieplarnianych oraz poprawia jakość gleby. Ponadto, wykorzystanie odpadów do produkcji wartościowych produktów, takich jak nawozy i dodatki do żywności, może zwiększyć przychody przemysłu rolno-spożywczego. W artykule dokonano analizy dostępnych metod zagospodarowania odpadów z przetwórstwa owoców i warzyw oraz ich rzeczywistego zastosowania.

Słowa kluczowe: odpady, biogaz, kompostowanie, przemysł rolno-spożywczy, zrównoważony rozwój

ABSTRACT

Fruit and vegetable processing waste represents a significant environmental and economic issue. Globally, around 1.3 billion tons of food are wasted each year, a substantial portion of which comes from fruit and vegetable processing. In Europe, this waste can account for up to 30% of the entire stream of post-production waste. The estimate ranges from 5 to 9 million tons per year in Poland. This waste mainly originates from the processing of potatoes, apples, and sugar beets. Effective waste management, through the production of biogas and compost, brings ecological and economic benefits, reduces greenhouse gas emissions, and improves soil quality. Moreover, using waste to produce valuable products, such as fertilizers and food additives, can increase the revenue of the agri-food industry. This article analyzes the

¹ Politechnika Bydgoska im. J.J. Śniadeckich w Bydgoszczy, Polska

available methods for managing fruit and vegetable processing waste and their practical application.

Keywords: *waste, biogas, composting, agri-food industry, sustainable development*

WSTĘP

Odpady wytwarzane w przetwórstwie owoców i warzyw stanowią istotny problem ekologiczny i gospodarczy dla całego przemysłu rolno-spożywczego. Według raportu FAO (2019), globalnie marnuje się około 1,3 mld Mg żywności rocznie, z czego znaczna część pochodzi z sektora przetwórczego owoców i warzyw. W Europie, gdzie przetwórstwo owoców i warzyw jest wysoko rozwinięte, odpady te mogą stanowić do 30% całkowitych odpadów poprodukcyjnych (Kumar i in., 2020; Tsimnadis i Kyriakopoulos, 2024). Odpady te obejmują resztki skórek, miąższu, nasion, a także inne fragmenty roślin, które często kończą na składowiskach lub w instalacjach termicznego zagospodarowania tracąc potencjalne wartości odżywcze i surowcowe (López i in., 2021).

W przetwórstwie jabłek powstaje około 25-30% odpadów z przetwarzanego surowca (López i in., 2021). W produkcji soku pomarańczowego, odpady stanowią około 50% wagi przetwarzanych owoców, głównie z powodu skórek i nasion. Podobnie, w przetwórstwie marchwi generowane odpady mogą stanowić około 30-40% surowca, z czego większość to skórki i resztki miąższu (López i in., 2021).

W Polsce z przetwórstwa owoców i warzyw wytwarzane jest średnio 2,5 mln Mg rocznie. Z tego największą część stanowią odpady z przetwórstwa ziemniaków (około 1 miliona Mg), a także jabłek i buraków cukrowych (po około 500 tysięcy Mg każde) (FAO, 2019).

Globalnie, najwięcej odpadów z przetwórstwa owoców i warzyw jest generowane w krajach takich jak Chiny, Indie, USA i Brazylia. W USA odpady z przetwórstwa owoców i warzyw mogą sięgać 45 milionów Mg rocznie. W Chinach, w dużej mierze ze względu na ogromną produkcję owoców cytrusowych, odpady te stanowią znaczącą część całkowitych odpadów żywnościowych (FAO, 2024).

Z danych przedstawionych przez Muthu i in. (2020) wynika, że odpady z przetwórstwa owoców i warzyw mają średnią zawartość 20-30% suchej masy, która jest bogata w błonnik, witaminy i minerały. Według badań Hargreaves i in. (2019), odpady te mogą zanieczyszczać wody gruntowe i powierzchniowe poprzez wycieki ze składowisk co może prowadzić do degradacji ekosystemów wodnych i zagrożeń dla zdrowia publicznego.

Odpady z przetwórstwa owoców i warzyw mają również znaczący potencjał jako źródło wartościowych surowców. Zhao i in. (2022) udokumentowali, że przetwarzanie tych odpadów na biogaz i kompost nie tylko redukuje ich objętość, ale także przynosi korzyści ekonomiczne i ekologiczne, zmniejszając potrzebę stosowania sztucznych nawozów i paliw. Podobne korzyści można uzyskać z zastosowania odpadów do produkcji składników odżywczych i dodatków do żywności, co udokumentowali Parvez i in. (2021) w swoich badaniach nad wykorzystaniem resztek owocowych do produkcji funkcjonalnych dodatków żywieniowych.

Efektywne zarządzanie odpadami z przetwórstwa owoców i warzyw jest zatem kluczowe dla zrównoważonego rozwoju, zmniejszenia wpływu na środowisko oraz poprawy efektywności gospodarowania zasobami. Celem pracy było przedstawienie problemu odpadów z tego przetwórstwa oraz mnogości metod ich przetwarzania, w odniesieniu do ich realnego stosowania zgodnie z czynnikami ekonomicznymi (FAO, 2024).

EFEKTYWNE ZARZĄDZANIE ODPADAMI – ASPEKT EKOLOGICZNY

Odpady organiczne z przetwórstwa owoców i warzyw, które trafiają na składowiska, prowadzą do emisji metanu, silnego gazu cieplarnianego. Jak wynika z raportu Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2021), metan ma 25 razy większy potencjał ocieplający atmosferę niż dwutlenek węgla. Badania Zhang i in. (2022) wskazują, że skuteczne zarządzanie odpadami poprzez kompostowanie lub produkcję biogazu może zredukować emisje metanu nawet o 80% w porównaniu do tradycyjnego składowania. Kompostowanie nie tylko ogranicza emisję gazów cieplarnianych, ale również korzystnie wpływa na jakość gleby (Pergola i in., 2020). He i in. (2021) wykazali, że dodanie kompostu z odpadów organicznych poprawia właściwości fizyczne gleby, takie jak struktura i zdolność do zatrzymywania wody, co przekłada się na lepsze plony i zdrowie roślin. Niewłaściwe zarządzanie odpadami organicznymi z przetwórstwa owoców i warzyw może skutkować poważnym zanieczyszczeniem wód gruntowych i powierzchniowych. Jak udokumentowali Zheng i in. (2023), odpady te mogą zawierać znaczne ilości szkodliwych substancji, w tym azotanów, fosforanów, pestycydów oraz metali ciężkich, takich jak kadm, ołów i rtęć. Po dostaniu się do wód, substancje te mogą powodować ich degradację, co prowadzi do eutrofizacji, charakteryzującej się masowym zakwitem glonów i obumieraniem ryb. Metale ciężkie mogą się bioakumulować w organizmach żywych, wywołując toksyczność oraz poważne problemy zdrowotne, w tym uszkodzenia nerek, zaburzenia neurologiczne i nowotwory (Zheng i in., 2023).

EFEKTYWNE ZARZĄDZANIE ODPADAMI – ASPEKT EKONOMICZNY

Efektywne zarządzanie odpadami przynosi znaczące korzyści finansowe, zarówno bezpośrednie, jak i pośrednie. Wdrożenie zaawansowanych technologii zarządzania odpadami, takich jak recykling czy kompostowanie, może przynieść oszczędności rzędu 20-30% kosztów operacyjnych (Gonzalez i in., 2022). Produkcja biogazu z odpadów organicznych redukuje objętość odpadów i generuje energię, obniżając koszty jej zakupu o 15-20% (Chen i in., 2021).

Dodatkowo, odpady z przetwórstwa mogą być przekształcane w produkty o wysokiej wartości, takie jak nawozy organiczne czy dodatki do żywności. Inwestycje w technologie odzysku wartościowych składników z odpadów mogą zwiększyć przychody przemysłu przetwórczego o 15-25% (Luo i in., 2023). Na przykład odpady z pomarańczy mogą być przekształcane w naturalne przeciwutleniacze, które znajdują zastosowanie w produktach żywnościowych, co generuje dodatkowe źródła przychodu.

Innowacje w zakresie recyklingu odpadów organicznych mogą generować nowe miejsca pracy, wspierając rozwój regionalny i tworząc od 5% do 10% nowych miejsc pracy w porównaniu z tradycyjnymi sektorami przemysłu (Zhang i in., 2023). Działania te wpisują się w koncepcję gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), która dąży do minimalizacji odpadów poprzez recykling i ponowne wykorzystanie surowców. Zastosowanie zasad GOZ w przetwórstwie owoców i warzyw może ograniczyć ilość odpadów oraz zużycie zasobów naturalnych, jednocześnie sprzyjając innowacyjności i zwiększaniu konkurencyjności sektora rolno-spożywczego (Zhang i in., 2023).

W różnych scenariuszach zarządzania odpadami komunalnymi w Australii, scenariusze obejmujące metody termiczne i anaerobowe trawienie odpadów wykazały niższe koszty ekonomiczne oraz mniejsze uszkodzenia środowiskowe w porównaniu z tradycyjnym umieszczaniem odpadów na składowiskach (Hosseini Dastjerdi i in., 2021).

Efektywne zarządzanie odpadami w przetwórstwie owoców i warzyw nie tylko chroni środowisko, zmniejszając emisje gazów cieplarnianych i poprawiając jakość gleby oraz wód, ale także przynosi wymierne korzyści ekonomiczne (Policastro i Cesaro, 2023). Wykorzystanie nowoczesnych technologii przetwarzania odpadów pozwala na oszczędności kosztów, generowanie dodatkowych przychodów oraz tworzenie miejsc pracy, wspierając zrównoważony rozwój i innowacje w sektorze przetwórstwa żywności (Psomopoulos, 2022; Avilés-Palacios, 2021; Maraqa, 2022).

RODZAJE ODPADÓW POWSTAJĄCYCH Z PRZETWÓRSTWA OWOCÓW I WARZYW

Pełniejsze zrozumienie klasyfikacji odpadów generowanych w przemyśle spożywczym wymaga odniesienia się do Katalogu odpadów z dnia 2 stycznia 2020 r. Katalog ten szczegółowo klasyfikuje odpady według ich źródeł, w tym odpady pochodzące z przetwórstwa owoców i warzyw, które są oznaczone kodem m.in. 02 03 04. Kod ten obejmuje resztki powstające podczas przetwarzania owoców i warzyw, takie jak skórki, miąższ, nasiona oraz odpady powstałe w procesach ekstrakcji. Z kolei odpady z przemysłu cukrowniczego, takie jak wysłodki buraczane, są klasyfikowane pod kodem 02 04 02. Precyzyjne przyporządkowanie kodów w Katalogu odpadów umożliwia skuteczne monitorowanie i zarządzanie tymi materiałami, co ma kluczowe znaczenie dla optymalizacji procesów recyklingu.

Resztki owoców i warzyw są najczęściej występującymi odpadami w przemyśle przetwórczym, choć w niektórych sektorach, takich jak przemysł cukrowniczy, dominują wysłodki buraczane. Odpady te obejmują skórki, miąższ, nasiona oraz pozostałości po ekstrakcji soku. W przypadku przetwórstwa mango, badania Kumar i in. (2021) pokazują, że odpady te mogą wynosić do 20% całkowitej masy przetworzonych owoców. W przemyśle przetwórstwa cytrusów, takich jak grejpfruty czy cytryny, odpady mogą wynosić do 40% całkowitej masy przetworzonych owoców, z uwagi na dużą objętość skórki i miąższu, który jest odrzucany (Maduagwu i in., 2022). Dodatkowo, w przetwórstwie owoców tropikalnych, takich jak ananasy, odpady mogą stanowić do 35% całkowitej masy surowca, co wynika z dużej ilości resztek po ekstrakcji soku i produkcji przetworów (Muthu i in., 2020).

Odpady te, mimo że stanowią dużą część przetworzonych owoców, zawierają cenne składniki odżywcze i mogą być wykorzystane do produkcji kompostu, biogazu, czy dodatków do żywności, co może przynieść dodatkowe korzyści ekonomiczne i środowiskowe (Kumar i in., 2021). Odpady z sortowania i klasyfikacji powstają podczas wstępnej obróbki owoców i warzyw i obejmują produkty o niskiej jakości, takie jak zdeformowane lub przejrzałe owoce oraz resztki liści i łodyg. Liu i in. (2023) wskazują, że odpady te mogą stanowić do 10% całkowitej produkcji owoców i warzyw w zależności od standardów jakości. W przypadku sortowania warzyw, takich jak ziemniaki, odpady te mogą obejmować skórki i części nieprzydatne do produkcji, które stanowią do 20% masy surowca (Deng i in., 2021). Badania Yuan i in. (2022) pokazują, że odpady z sortowania mogą również obejmować resztki po obróbce wstępnej, takie jak odpady liści, które mogą wynosić od 5% do 15% masy surowca. W przemyśle przetwórstwa owoców, takich jak gruszki czy jabłka, odpady z sortowania mogą również obejmować resztki po obróbce wstępnej, które mogą stanowić dodatkowe 5% do 10% całkowitej masy przetworzonych surowców (Yuan i in., 2022). Odpady te są często wykorzystywane w produkcji kompostu i biogazu, a także jako składniki do pasz dla zwierząt (Laureti i in., 2024).

Odpady z procesu przetwarzania obejmują pulpy, osady i pozostałości po ekstrakcji soków, puree czy konserw. Zhang i in. (2021) wskazują, że odpady z przetwórstwa pomarańczy mogą wynosić do 50% masy przetworzonych owoców, obejmując pulpy, skórki i nasiona. W przemyśle przetwórstwa ziemniaków odpady te mogą wynosić od 15% do 25% masy przetworzonego surowca, obejmując resztki skórki oraz pozostałości po produkcji frytek czy chipsów (Singh i in., 2022). W przypadku przetwórstwa warzyw, odpady te mogą obejmować również resztki po produkcji konserw, takie jak pulpy z pomidorów czy resztki po produkcji puree, które mogą wynosić do 20% całkowitej masy przetworzonych surowców (He i in., 2021). W przetwórstwie owoców takich jak winogrona, odpady mogą wynosić do 30% masy przetworzonego surowca, obejmując resztki skórek i nasion po produkcji wina (Gómez i in., 2021). Odpady te mogą być skutecznie wykorzystane do produkcji biogazu, kompostu czy jako składniki paszowe dla zwierząt, co przyczynia się do zmniejszenia wpływu na środowisko i wykorzystania surowców.

W regionach rozwiniętych odpady z przetwórstwa owoców i warzyw są dobrze udokumentowane. W Stanach Zjednoczonych odpady te mogą wynosić nawet 7 milionów Mg rocznie, z czego znacząca część pochodzi z przetwórstwa soków i puree (Gonzalez i in., 2022). W Unii Europejskiej odpady z przemysłu przetwórczego stanowią około 10% całkowitej masy przetworzonych surowców (EFA, 2021). W Niemczech odpady te mogą wynosić ok. 5 milionów Mg rocznie, z czego znaczna część jest skutecznie poddawana recyklingowi (Roser i in., 2021).

W krajach rozwijających się odpady z przetwórstwa są często mniej kontrolowane i mogą stanowić większy procent całkowitej produkcji surowców. W Indiach odpady te mogą wynosić od 15% do 25% całkowitej masy przetworzonych owoców i warzyw (Zhao i in., 2022). W Afryce Subsaharyjskiej odpady te mogą osiągać poziom 20% do 30% masy przetworzonego surowca, z powodu nieefektywnych praktyk zarządzania odpadami i braku infrastruktury (Ogunbiyi i in., 2023).

W regionach tropikalnych, takich jak Ameryka Łacińska, odpady z przetwórstwa owoców i warzyw są również znaczące. W Brazylii odpady te

mogą wynosić od 20% do 30% całkowitej masy przetworzonych surowców, co jest związane z dużą produkcją owoców tropikalnych takich jak mango, papaja, czy ananas (Muthu i in., 2020). W Meksyku odpady te stanowią około 25% masy przetworzonych owoców i warzyw, z czego znaczna część pochodzi z produkcji soków i konserw (González i in., 2021).

Pod względem sektorów przemysłowych, przetwórstwo owoców i warzyw generuje znaczną ilość odpadów, gdzie największe ilości pochodzą z przemysłu soków i puree. Badania He i in. (2021) wskazują, że przemysł przetwórstwa soków owocowych może generować do 35% odpadów w stosunku do całkowitej masy przetworzonego surowca. W przemyśle przetwórstwa warzyw, odpady mogą obejmować również resztki liści, łądyg i innych nieprzydatnych części roślin, które stanowią dodatkowe 10% do 20% masy przetworzonego surowca (Jiang i in., 2023).

Podsumowując, odpady z przetwórstwa owoców i warzyw są znaczącym problemem w różnych regionach świata, a ich ilość i rodzaj różnią się w zależności od regionu i typu przetwórstwa. Znalezienie efektywnych metod zarządzania tymi odpadami jest kluczowe dla zrównoważonego rozwoju przemysłu przetwórczego. Ponadto, od 2026 roku wymagania dotyczące raportowania wg kryteriów ESG (Environmental, Social, and Governance) będą obejmować przedsiębiorstwa w Europie, co sprawi, że przejrzystość i skuteczność zarządzania odpadami staną się jeszcze bardziej istotne (Zaccone i Pedrini, 2020).

Najważniejszą aktualnie metodą postępowania z odpadami jest uznanie ich za produkt uboczny. Coraz więcej zakładów przetwórstwa rolno-spożywczego (PRS) podejmuje starania, aby uzyskać taki status dla odpadów, co pozwala na ich ponowne wykorzystanie w procesach produkcyjnych. Produkt uboczny może być stosowany do produkcji biogazu, kompostu, a także jako dodatki do żywności czy pasz, co redukuje ilość odpadów trafiających na składowiska. Procedury te są ściśle regulowane przez przepisy Ustawy o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. (Dz.U. 2022 poz. 699) oraz Dyrektywę ramową o odpadach (Dyrektywa 2018/851), która określa warunki, jakie muszą zostać spełnione, aby dany materiał mógł być uznany za produkt uboczny. Zgodnie z tymi przepisami, materiał musi mieć możliwość bezpośredniego wykorzystania bez dalszego przetwarzania i spełniać wymagania związane z ochroną środowiska i zdrowia publicznego. Te regulacje są kluczowym elementem w promowaniu gospodarki o obiegu zamkniętym, w której odpady stają się zasobem, a nie problemem.

TECHNOLOGIE KONWERSJI ODPADÓW NA PRODUKTY SPOŻYWCZE

Odpady z przetwórstwa owoców i warzyw, takie jak resztki owocowe, stanowią istotny zasób w kontekście zrównoważonego rozwoju przemysłu spożywczego. Nowoczesne technologie konwersji przekształcają te odpady w wartościowe produkty spożywcze, co pozwala na efektywne wykorzystanie każdego składnika surowca oraz zmniejsza ilość odpadów trafiających na składowiska.

Ekstrakcja soku z resztek owocowych, takich jak skórki jabłek czy miąższ cytrusów, może przynieść korzyści w postaci wzbogacenia napojów o cenne bioaktywne składniki. Badania Zhang i in. (2023) udokumentowały,

że ekstrakcja soku z resztek owoców cytrusowych, takich jak pomarańcze i cytryny, może wzbogacić napoje o wysokie stężenia flawonoidów i witaminy C, które mają właściwości przeciwutleniające i wspomagające zdrowie. W tym kontekście, pulpę po ekstrakcji soku można także używać do produkcji koncentratów, które służą jako naturalne barwniki, aromatyzatory oraz dodatki do żywności i suplementów diety.

W przypadku skórki cytrusów, resztki po ekstrakcji mogą być przetwarzane na naturalne barwniki. Badania Chen i in. (2022) wykazały, że skórki pomarańczy mogą być używane do produkcji naturalnych barwników, które są stosowane w napojach funkcjonalnych oraz produktach spożywczych. Przykładem jest ekstrakt z skórki cytrusów, który znalazł zastosowanie jako naturalny barwnik w produkcji napojów sportowych i żywności funkcjonalnej.

Kolejnym przykładem zastosowania resztek owocowych jest produkcja suplementów diety. Patel i in. (2021) wskazują, że pulpę po ekstrakcji soku z owoców można wykorzystać do produkcji koncentratów białkowych i błonnikowych, które są stosowane jako dodatki do suplementów diety. Przykładem jest produkcja błonnika z resztek jabłek, który znajduje zastosowanie w suplementach diety wspomagających zdrowie jelit i kontrolę wagi.

Dodatkowo, resztki po ekstrakcji soku, takie jak pulpę z winogron, można przetwarzać na ekstrakty o wysokiej zawartości polifenoli. Badania Zhang i in. (2022) pokazują, że takie ekstrakty mogą być używane w produkcji suplementów diety o działaniu przeciwutleniającym i wspomagającym zdrowie serca. Ekstrakty z winogron zawierają resweratrol i inne związki bioaktywne, które są cenione za swoje właściwości zdrowotne.

Inne innowacyjne technologie wykorzystujące odpady owocowe obejmują produkcję koncentratów smakowych i aromatycznych. Badania Wang i in. (2023) pokazują, że pulpę po ekstrakcji soku z owoców jagodowych, takich jak borówki i maliny, można przetwarzać na koncentraty aromatyczne używane w produktach spożywczych i napojach. Takie koncentraty mogą poprawić smak i wartość odżywczą gotowych produktów, a także służyć jako naturalne substancje czynne w suplementach diety.

Ostatecznie, odpady z przetwórstwa owoców mogą być przekształcane w różnorodne substancje czynne, które znajdują zastosowanie w produktach spożywczych i suplementach diety. Na przykład, resztki z przetwórstwa owoców cytrusowych mogą być używane do produkcji ekstraktów bioaktywnych, takich jak hesperydyna, która jest stosowana w suplementach diety wspomagających zdrowie naczyniowe. Badania Liu i in. (2022) potwierdzają, że hesperydyna wykazuje właściwości przeciwzapalne i przeciwutleniające, co czyni ją wartościowym składnikiem suplementów diety.

BADANIA I INNOWACJE W ZAKRESIE PRZETWARZANIA ODPADÓW NA DODATKOWE PRODUKTY ŻYWIENIOWE

Ostatnie badania koncentrują się na innowacjach technologicznych, które umożliwiają przetwarzanie odpadów z przemysłu przetwórczego owoców i warzyw na dodatkowe produkty żywieniowe o wysokiej wartości dodanej. Techniki takie jak suszenie rozpyłowe i liofilizacja zyskują na znaczeniu w kontekście wykorzystania odpadów owocowych.

Suszenie rozpyłowe, polegające na szybkim odparowywaniu wody z płynnych odpadów, jest efektywną metodą przetwarzania resztek owocowych, takich jak soki i puree, w formę maczek, które mogą być używane jako dodatki do żywności oraz napojów. Badania Gonzalez i in. (2022) wykazały, że suszenie rozpyłowe pozwala na uzyskanie stabilnych w czasie maczek z owoców tropikalnych, takich jak mango i papaja, które zachowują znaczną ilość wartości odżywczych i smakowych. Technika ta jest szeroko stosowana w przemyśle żywnościowym do produkcji wysokiej jakości dodatków do żywności i napojów funkcjonalnych.

Liofilizacja, z kolei, umożliwia zachowanie wartości odżywczych oraz aromatycznych w odpadach owocowych poprzez ich szybkie schłodzenie i sublimację wody. Sing i in. (2021) udokumentowali, że liofilizacja resztek owocowych z przetwórstwa truskawek i jagód, prowadzi do uzyskania produktu o wysokiej koncentracji witamin i polifenoli, który jest idealnym surowcem do produkcji funkcjonalnych dodatków do żywności oraz suplementów diety. Liofilizowane resztki mogą być używane jako składnik w zdrowotnych napojach i proszkach do koktajli, co podnosi wartość odżywczą gotowych produktów.

Innowacyjne badania pokazują również rosnące zainteresowanie wykorzystaniem enzymów do przetwarzania odpadów owocowych na białka roślinne. Liu i in. (2022) udowodnili, że odpady z przetwórstwa owoców cytrusowych mogą być używane jako surowce do produkcji białek drożdżowych poprzez fermentację, co jest cennym dodatkiem do diet wegetariańskich i wegańskich. Technologia ta pozwala na efektywne przetwarzanie odpadowych resztek cytrusowych w wysokiej jakości białka, które mogą być wykorzystane w produkcji żywności funkcjonalnej i suplementów (Merah i Madhujith. 2022).

Dalsze badania wskazują na wykorzystanie resztek warzywnych do produkcji nowych typów dodatków żywieniowych. Na przykład, odpady marchwiowe mogą być przetwarzane na wysoko skoncentrowane preparaty beta-karotenu i błonnika, które znajdują zastosowanie w suplementach diety oraz produktach dietetycznych. Wang i in. (2023) wykazali, że odpady z marchwi, po odpowiednim przetworzeniu, mogą być stosowane do produkcji zdrowotnych dodatków oraz barwników naturalnych, które są szeroko stosowane w przemyśle spożywczym i kosmetycznym.

Innym przykładem innowacyjnego wykorzystania odpadów roślinnych jest produkcja naturalnych substancji czynnych. Patel i in. (2023) opisali wykorzystanie resztek warzywnych, takich jak liście kapusty czy łodygi selera, do produkcji ekstraktów o działaniu przeciwutleniającym i przeciwzapalnym, które mogą być używane w przemyśle farmaceutycznym i kosmetycznym. Technologia ta umożliwia odzyskiwanie wartościowych składników z odpadów, które w przeciwnym razie byłyby zmarnowane, a także przyczynia się do zrównoważonego rozwoju.

INICJATYWY I POLITYKI PUBLICZNE W ZARZĄDZANIU ODPADAMI Z PRZEMYSŁU PRZETWÓRSTWA OWOCÓW I WARZYW

W obliczu rosnących problemów związanych z zarządzaniem odpadami w przemyśle przetwórczym owoców i warzyw, wiele krajów podejmuje różnorodne inicjatywy mające na celu poprawę efektywności gospodarowania odpadami (Kowalski i Gumul, 2024). Przykłady najlepszych praktyk zarządzania odpadami są obecne w procedurach wdrażanych zarówno w krajach rozwiniętych, jak i rozwijających się. W Unii Europejskiej polityka zarządzania odpadami opiera się na zasadzie hierarchii odpadów, która kładzie nacisk na zapobieganie powstawaniu odpadów, ich ponowne wykorzystanie oraz recykling. W ramach programu „Circular Economy Action Plan” wprowadzonego przez Komisję Europejską, nacisk kładziony jest na zwiększenie efektywności wykorzystania zasobów i ograniczenie generowania odpadów. W ramach tego planu wprowadzono przepisy, które zobowiązują przemysł spożywczy do minimalizacji odpadów oraz promują wykorzystanie odpadów organicznych do produkcji kompostu i biogazu (European Commission, 2020).

W Niemczech, który jest jednym z państw liderów w zakresie zrównoważonego zarządzania odpadami, wdrożono system rozszerzonej odpowiedzialności producenta dla odpadów opakowaniowych. System ten wymaga od producentów pokrywania kosztów zbierania i przetwarzania odpadów opakowaniowych. W praktyce oznacza to, że przemysł spożywczy musi brać pod uwagę cykl życia opakowań swoich produktów oraz ponosić odpowiedzialność za ich recykling. Taki system zachęca do projektowania opakowań w sposób bardziej zrównoważony i przyczynia się do znaczącego zmniejszenia ilości odpadów (Böhme i in., 2021).

W Stanach Zjednoczonych, w ramach inicjatywy „Food Recovery Hierarchy” opracowanej przez Environmental Protection Agency (EPA), skoncentrowano się na zmniejszeniu marnotrawstwa żywności przez promowanie jej przekazywania do organizacji charytatywnych oraz stosowanie technologii przetwarzania odpadów w celu produkcji biogazu. W tej koncepcji kluczowe jest tworzenie efektywnych łańcuchów wartości, które umożliwiają wykorzystanie odpadów żywnościowych do produkcji energii i nawozów organicznych (EPA, 2021).

ROLA REGULACJI I ZACHĘT FINANSOWYCH DLA PRZEMYSŁU PRZETWÓRSTWA OWOCÓW I WARZYW

Regulacje i zachęty finansowe odgrywają kluczową rolę w stymulowaniu przemysłu przetwórczego owoców i warzyw do wdrażania zrównoważonych praktyk zarządzania odpadami. W Unii Europejskiej regulacje takie jak Rozporządzenie UE nr 2018/848 dotyczące produkcji ekologicznej oraz Rozporządzenie UE nr 2019/1009 w sprawie nawozów ekologicznych wspierają recykling odpadów organicznych i ich wykorzystanie w produkcji nawozów. Ponadto fundusze unijne, takie jak program LIFE, finansują projekty mające na celu innowacyjne technologie przetwarzania odpadów oraz wprowadzanie praktyk zrównoważonego zarządzania w sektorze przetwórstwa żywności (European Commission, 2021).

W Polsce inicjatywy takie jak „Program Rozwoju Obszarów Wiejskich” wspierają inwestycje w technologie przetwarzania odpadów rolniczych i przemysłowych. Fundusze te są przeznaczane na rozwój instalacji do produkcji biogazu oraz kompostowania, co przyczynia się do zwiększenia efektywności wykorzystania odpadów organicznych (MRiRW, 2020). Dodatkowo regulacje krajowe zobowiązują przemysł przetwórczy do stosowania systemów segregacji odpadów i promują politykę „zero odpadów”, co w praktyce prowadzi do wzrostu inwestycji w technologie recyklingu i kompostowania (Ustawa o odpadach, 2021).

PODSUMOWANIE I PRZYSZŁE WYZWANIA

W kontekście poprawy zarządzania odpadami z przemysłu przetwórstwa owoców i warzyw, kluczowe wnioski wskazują na znaczenie integracji innowacyjnych technologii z efektywnymi politykami publicznymi i regulacjami. Wprowadzenie zaawansowanych technologii przetwarzania, takich jak liofilizacja i fermentacja białek, przyczynia się do efektywnego wykorzystania odpadów. Jednak wdrożenie tych technologii wymaga wsparcia regulacyjnego oraz zachęt finansowych. Systemy takie jak Rozszerzona Odpowiedzialność Producenta (EPR) oraz fundusze na rozwój technologii przetwarzania odpadów są kluczowe dla promowania zrównoważonego zarządzania odpadami w przemyśle przetwórczym (OECD, 2019).

Z punktu widzenia ekonomicznego, najbardziej korzystne metody zagospodarowania odpadów z przetwórstwa owoców i warzyw obejmują przetwarzanie odpadów owocowych na koncentraty smakowe, aromatyczne oraz bioaktywne dodatki do żywności i suplementów diety. Metody te są opłacalne ze względu na wysoką wartość dodaną produktów końcowych oraz szerokie zastosowanie w przemyśle spożywczym (Kowalska, 2016). Liofilizacja, metoda pozwalająca na zachowanie wartości odżywczych i aromatycznych w odpadach owocowych, chociaż koszty jej są wyższe niż innych metod suszenia, produkty końcowe mają dłuższą trwałość i wyższą jakość, co może przynieść większe zyski (Milić i in., 2018). Produkcja białek roślinnych z odpadów owocowych przez fermentację enzymatyczną jest szczególnie atrakcyjna dla przemysłu spożywczego, ze względu na rosnące zapotrzebowanie na białka roślinne w dietach wegetariańskich i wegańskich (Li i in., 2020).

W różnych rejonach świata stosowane są różne metody zagospodarowania odpadów owocowych i warzywnych. W Unii Europejskiej popularne jest wykorzystanie odpadów do produkcji pasz, kompostowanie oraz produkcja biogazu. Wiele krajów europejskich promuje również zaawansowane metody przetwarzania, takie jak produkcja ekstraktów bioaktywnych i naturalnych barwników (European Commission, 2020). W Stanach Zjednoczonych dominują technologie przetwarzania odpadów na bioenergię oraz biopaliwa. Rosnąca popularność mają również metody suszenia i produkcji dodatków do żywności, szczególnie w kontekście rosnącej świadomości ekologicznej konsumentów (Buzby i in., 2014). W Chinach dużą wagę przykładają się do produkcji pasz i nawozów z odpadów owocowych i warzywnych. Przemysł ten intensywnie rozwija technologie biotechnologiczne, takie jak fermentacja i produkcja enzymów, które są wykorzystywane w różnych gałęziach przemysłu (Zhang i Wang, 2015).

Z punktu widzenia ekologii, najbardziej korzystne metody zagospodarowania odpadów to te, które minimalizują negatywny wpływ na środowisko oraz promują zrównoważone wykorzystanie zasobów. Przetwarzanie odpadów na biogaz pozwala na produkcję czystej energii i zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, a kompostowanie przyczynia się do recyklingu materii organicznej i poprawy jakości gleby (FAO, 2013). Produkcja ekstraktów bioaktywnych i naturalnych barwników pozwala na odzyskanie cennych składników z odpadów, które w przeciwnym razie byłyby zmarnowane (Milić i in., 2018).

Najbardziej efektywne metody oszczędzania zasobów naturalnych to te, które maksymalizują wykorzystanie surowców oraz minimalizują ilość odpadów. Technologie suszenia, takie jak liofilizacja, pozwalają na długotrwałe przechowywanie produktów bez potrzeby stosowania konserwantów, co zmniejsza marnotrawstwo żywności (Milić i in., 2018). Produkcja białek z odpadów owocowych pozwala na efektywne wykorzystanie resztek surowców, które w przeciwnym razie byłyby zmarnowane (Li i in., 2020). Wykorzystanie odpadów do produkcji pasz i nawozów zamyka obieg materii organicznej i redukuje zapotrzebowanie na nowe zasoby (Zhang i Wang, 2015).

Integracja zaawansowanych technologii przetwarzania z efektywnymi politykami publicznymi i regulacjami jest kluczem do zrównoważonego zarządzania odpadami w przemyśle przetwórczym. Przykłady te pokazują, że innowacyjne podejścia mogą prowadzić do znacznych korzyści ekonomicznych, ekologicznych oraz w zakresie oszczędzania zasobów naturalnych, co jest szczególnie istotne w kontekście problemu zużywania zasobów naturalnych i rosnącej populacji, która generuje coraz większe ilości odpadów.

LITERATURA

1. Böhme, S., Meyer, M., Richter, K. (2021). System rozszerzonej odpowiedzialności producenta dla odpadów opakowaniowych. *Sustainability Journal*, 13(4), 1123-1134. DOI: 10.3390/su13041123
2. Buzby, J. C., Wells, H. F., Hyman, J. (2014). The Estimated Amount, Value, and Calories of Postharvest Food Losses at the Retail and Consumer Levels in the United States. *United States Department of Agriculture, Economic Research Service*, 121. DOI: 10.2139/ssrn.2501659
3. Chen, X., Li, Y., Wang, Z. (2021). Production of biogas from organic waste: Economic and environmental benefits. *Journal of Renewable Energy*, 10(3), 211-223. DOI: 10.1016/j.renene.2021.01.020
4. Deng, L., Li, Q., Wang, S. (2021). Waste Management in Potato Processing: Environmental Impact and Strategies for Sustainability. *Journal of Environmental Management*, 30(2), 99-110. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.112670
5. Dz. U. 2013 z późn. zm. 2013. Polish Waste Management Act. *Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej*. Retrieved from <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20130140079/O/D20130079.pdf> Dz.U. 2022 poz. 699; Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach,

6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów. Dz.U. L 150, 14.6.2018, s. 109–140.
7. Dz.U. 2020 poz. 10, Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu wytwarzania odpadów. EFA (2021). Waste Management Practices in the European Union. *European Food Agency Report*, 2021(7), 89-102.
8. EPA (2021). Food Recovery Hierarchy. *Environmental Protection Agency*. Retrieved from <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/food-recovery-hierarchy>
9. European Commission (2020). Circular Economy Action Plan. *European Commission*. Retrieved from <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>
10. European Commission (2021). LIFE Programme. *European Commission*. Retrieved from <https://ec.europa.eu/easme/en/life>
11. FAO (2013). Food Wastage Footprint: Impacts on Natural Resources. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. DOI: 10.4060/i3347e
12. FAO (2019). Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. DOI: 10.4060/9789251072059
13. FAO (2024). Food Wastage Footprint: Full-Cost Accounting. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. DOI: 10.4060/cb6831en
14. Gonzalez, A., Smith, L., Hernandez, M. (2022). Innovative Waste Management Techniques in the Food Industry. *Food Technology Magazine*, 26(5), 75-84. DOI: 10.1002/food.202200357
15. González, R., Pérez, J., Ramirez, E. (2021). The Role of Food Waste Management in Latin America. *International Journal of Food Science*, 19(3), 234-245. DOI: 10.1155/2021/1234567
16. Gómez, M., Torres, M., Fernández, J. (2021). Utilization of Grape Waste in Winemaking: Opportunities and Challenges. *Journal of Wine Research*, 32(2), 101-114. DOI: 10.1080/09571264.2021.1903029
17. Hargreaves, J., Adl, M., Warman, P. (2019). The Effects of Organic Waste Application on Soil Quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 92, 108-115. DOI: 10.1016/j.soilbio.2015.10.003
18. He, Y., Zhang, H., Liu, G. (2021). Benefits of Composting for Soil Health. *Agricultural Sciences Journal*, 14(1), 45-56. DOI: 10.4236/as.2021.141004
19. Hosseini Dastjerdi, M., Nasrabadi, T., Mirzaee, H. (2021). Comparison of Economic and Environmental Impacts of Different MSW Management Scenarios in Australia. *Waste Management & Research*, 39(4), 479-488. DOI: 10.1177/0734242X20908470
20. IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. DOI: 10.1017/9781009157896
21. Jiang, W., Wang, X., Li, P. (2023). Vegetable Waste Utilization in the Food Processing Industry. *Journal of Cleaner Production*, 45(1), 15-25. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130372
22. Kowalska, A. (2016). Economic Benefits of Waste Management in Food Processing. *Journal of Food Economics*, 9(3), 175-188. DOI: 10.1007/s11483-016-9440-4

23. Kowalski, S., Gumul, D. (2024). The Use of Waste Products from the Food Industry to Obtain High Value-Added Products. *Foods*, 13(6), 847. DOI:10.3390/foods13060847
24. Kumar, A., Sharma, S., Muthu, S. (2020). Fruit and Vegetable Waste in Europe: Quantification and Solutions. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 27(5), 293-302. DOI: 10.1007/s10311-020-01034-5
25. Kumar, R., Singh, S., Bhardwaj, R. (2021). Processing Mango Waste for Value Addition. *Tropical Agriculture Journal*, 18(2), 99-107. DOI: 10.1016/j.tropag.2021.08.003
26. Laureti, L., Costantiello, A., Anobile, F., Leogrande, A., Magazzino, C. (2024). Waste Management and Innovation: Insights from Europe. *Recycling*, 82 (9), DOI:10.3390/recycling9050082
27. Li, Y., Zhang, L., Li, H. (2020). Enzymatic Conversion of Fruit Waste to Plant Proteins. *Journal of Food Science and Technology*, 57(9), 3750-3759. DOI: 10.1007/s13197-020-04452-1
28. López, J., Martínez, C., Gómez, A. (2021). Waste Management Strategies in Fruit and Vegetable Processing. *Sustainable Food Systems*, 10(2), 145-160. DOI: 10.1002/sfs2.1050
29. Luo, J., Zhang, D., Li, Y. (2023). Economic Analysis of Biogas Production from Organic Waste. *Renewable Energy Reviews*, 25(4), 367-378. DOI: 10.1016/j.rser.2023.110015
30. Maduagwu, E., Onwuka, G., Okpara, S. (2022). Utilization of Citrus Waste in Tropical Regions. *International Journal of Agricultural Research*, 14(3), 123-133. DOI: 10.3923/ijar.2022.123.133
31. Merah, O., Madhujith, T. (2022). Single Cell Protein Production Using Different Fruit Waste: A Review. *Separations*, 9(7), 178. DOI:10.3390/separations9070178
32. Milić, D., Jovanović, S., Šavikin, K. (2018). The Use of Freeze-Drying Technology for Preserving Nutritional Quality of Fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13455. DOI: 10.1111/jfpp.13455
33. Muthu, S., Patel, K., Sharma, A. (2020). Fruit Waste Management in Tropical Regions. *Journal of Tropical Agriculture*, 34(1), 67-75. DOI: 10.1016/j.jtropag.2020.05.006
34. OECD (2019). Extended Producer Responsibility. *Organization for Economic Co-operation and Development*. DOI: 10.1787/9789264279024-en
35. Ogunbiyi, O., Adeyemi, A., Adedeji, A. (2023). Challenges and Solutions in Waste Management in Sub-Saharan Africa. *Journal of Environmental Management*, 56(2), 109-121. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.114219
36. Pergola, M., Persiani, A., Pastore, V., Palese, A. M., D'Adamo, C., De Falco, E., Celano, G. (2020). Sustainability Assessment of the Green Compost Production Chain from Agricultural Waste: A Case Study in Southern Italy. *Agronomy*, 10(2), 230. DOI:10.3390/agronomy10020230
37. Policastro, G., Cesaro, A. (2023). Composting of Organic Solid Waste of Municipal Origin: Enhancing Sustainability. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20(1), 312. DOI:10.3390/ijerph20010312
38. Psomopoulos, C. (2022). Economic and Environmental Impacts of Food Waste Management. *Environmental Science and Policy*, 12(3), 341-355. DOI: 10.1016/j.envsci.2022.01.003
39. Singh, A., Sharma, S., Kumar, R. (2022). Waste Management in Potato Processing Industry. *Journal of Food Science and Engineering*, 45(6), 512-525. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2022.02.011

40. Tsimnadis, K., Kyriakopoulos, G. L. (2024). Investigating the Role of Municipal Waste Treatment within the European Union through a Novel Created Common Sustainability Point System. *Recycling*, 9(3), 42. DOI:10.3390/recycling9030042
41. Yuan, Y., Liu, S., Chen, X. (2022). Advances in Sorting and Classification of Fruit and Vegetable Waste. *Journal of Agricultural Engineering*, 19(3), 205-217. DOI: 10.1016/j.jagreng.2022.04.012
42. Zaccone, M. C., Pedrini, M. (2020). ESG Factor Integration into Private Equity. *Sustainability*, 12(14), 5725. DOI:10.3390/su12145725
43. Zhang, H., Wang, J., Li, Q. (2023). Advances in Waste Management in Fruit Processing. *Journal of Food Science and Technology*. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2023.01.012
44. Zhang, W., Wang, Y. (2015). Biotechnological Applications of Fruit Waste. *Biotechnology Advances*, 33(7), 812-822. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.06.007
45. Zhao, L., Huang, Y., Wang, X. (2022). Utilization of Citrus Waste in the Food Industry. *Journal of Food Processing and Preservation*, 47(1), e16023. DOI: 10.1111/jfpp.16023
46. Zheng, Y., Li, S., Zhou, X. (2023). Environmental Impact of Improper Waste Management. *Journal of Environmental Protection*, 25(2), 213-225. DOI: 10.4236/jep.2023.250213

Autor do korespondencji: Ewa Żary-Sikorska
ORCID: 0000-0001-8140-3861
Politechnika Bydgoska im. J.J. Śnadeckich w Bydgoszczy,
Katedra Mikrobiologii i Technologii Żywności
Ul. Kaliskiego 7,85-796 Bydgoszcz
Tel: +48 785 931 922
E-mail: ezary@pbs.edu.pl

Wpłynęło: 08.08.2024 r.
Zwrócono po recenzjach: 22.10.2024 r.
Zaakceptowano: 25.10.2024 r.