



CZASOPISMO

TECHNICZNE KTT

KWARTALNIK KRAKOWSKIEGO TOWARZYSTWA TECHNICZNEGO

Nr 200 Rok 145

Kraków 2025 r.

Styczeń-Marzec

Nr Indeksu 334006

ISSN: 1425-8390



RECENZOWANE ARTYKUŁY NAUKOWE

mgr inż. arch. Justyna M. Kobylarczyk ¹⁾, dr Agnieszka Nowaczek ²⁾

1) Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

2) Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

Kruszywa z recyklingu w budownictwie: analiza globalnych trendów i polskich wyzwań

1. Wprowadzenie.

Dynamiczna urbanizacja stymuluje rozwój sektora budowlanego, co prowadzi do zwiększonego zapotrzebowania na nowe inwestycje. Równocześnie sektor ten stoi przed wyzwaniem związanym ze starzejącą się infrastrukturą. Wiele budynków i obiektów wzniesionych kilkadziesiąt lat temu wymaga rozbiórki lub modernizacji, co generuje znaczne ilości odpadów budowlanych. Wyburzone obiekty stanowią poważne zagrożenie dla środowiska, szczególnie ze względu na chemiczne właściwości zawartych w nich kruszyw. Po przedostaniu się do ekosystemu mogą one powodować zanieczyszczenie gleby i wód gruntowych (Smith & Jones, 2020). Według danych Global Waste Management Outlook (2022), odpady budowlane na świecie to około 1,13 miliarda ton rocznie, co stanowi istotną część globalnej produkcji odpadów. Dodatkowo, emisje CO₂ związane z produkcją betonu wynoszą około 8% globalnych emisji, głównie ze względu na proces wytwarzania cementu. W Polsce, gdzie energetyka opiera się na węglu, ślad węglowy tej produkcji jest szczególnie wysoki. W odpowiedzi na ten problem branża budowlana wdraża rozwiązania takie jak cementy niskoemisyjne (np. Cement Jasny, redukcja CO₂ o 30%), paliwa alternatywne oraz dodatki mineralne (popioły, żużel), zmniejszające zużycie cementu (Plan Be, 2023).

Chiny są liderem w rozwoju sektora budowlanego, odpowiadając za około 30% globalnych odpadów budowlanych. Kraj ten odgrywa kluczową rolę w kontekście wyzwań związanych z zarządzaniem tymi odpadami. Na drugim miejscu znajdują się Stany

Zjednoczone, które w 2018 r. wygenerowały 600 milionów ton odpadów budowlanych, z czego 455 milionów ton zostało poddanych recyklingowi, co stanowi poziom odzysku wynoszący 75% (US EPA, 2019). Wprowadzenie efektywnych systemów recyklingu oraz ponownego wykorzystania materiałów budowlanych jest kluczowe dla ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju obu krajów, zwłaszcza że ich produkcja odpadów znacznie przewyższa poziomy generowane w innych państwach.

Na tle globalnych trendów Unia Europejska, która rocznie generuje około 374 milionów ton odpadów budowlanych i rozbiórkowych (stanowiących 35% całkowitej produkcji odpadów w UE), również wdrożyła działania w ramach strategii gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ). Komisja Europejska (KE) zobowiązała państwa członkowskie do ponownego wykorzystania, recyklingu oraz odzysku co najmniej 70% nieszkodliwych odpadów budowlanych i rozbiórkowych (licząc wagowo) do 2020 r. (European Environment Agency, 2023). Celem tych działań było ograniczenie negatywnego wpływu sektora budowlanego na środowisko oraz promocja budownictwa opartego na surowcach wtórnych, co wpisuje się w globalne wysiłki na rzecz bardziej zrównoważonej gospodarki odpadami. Emisje gazów cieplarnianych związane z wydobyciem materiałów, produkcją wyrobów budowlanych, a także budową i renowacją budynków szacuje się na 5–12% całkowitej emisji gazów cieplarnianych w krajach UE. Poprawa efektywności materiałowej mogłaby przyczynić się do redukcji aż 80% tych emisji.

Tabela 1. Kluczowe daty związane z przepisami UE dotyczącymi odpadów budowlanych i rozbiórkowych.

18 września 2018 r.	Wprowadzenie protokołu i wytycznych dotyczących odpadów budowlanych i rozbiórkowych
12 grudnia 2008 r.	Wchodzi w życie dyrektywa ramowa w sprawie odpadów, obejmująca przepisy dotyczące odpadów budowlanych i remontowych

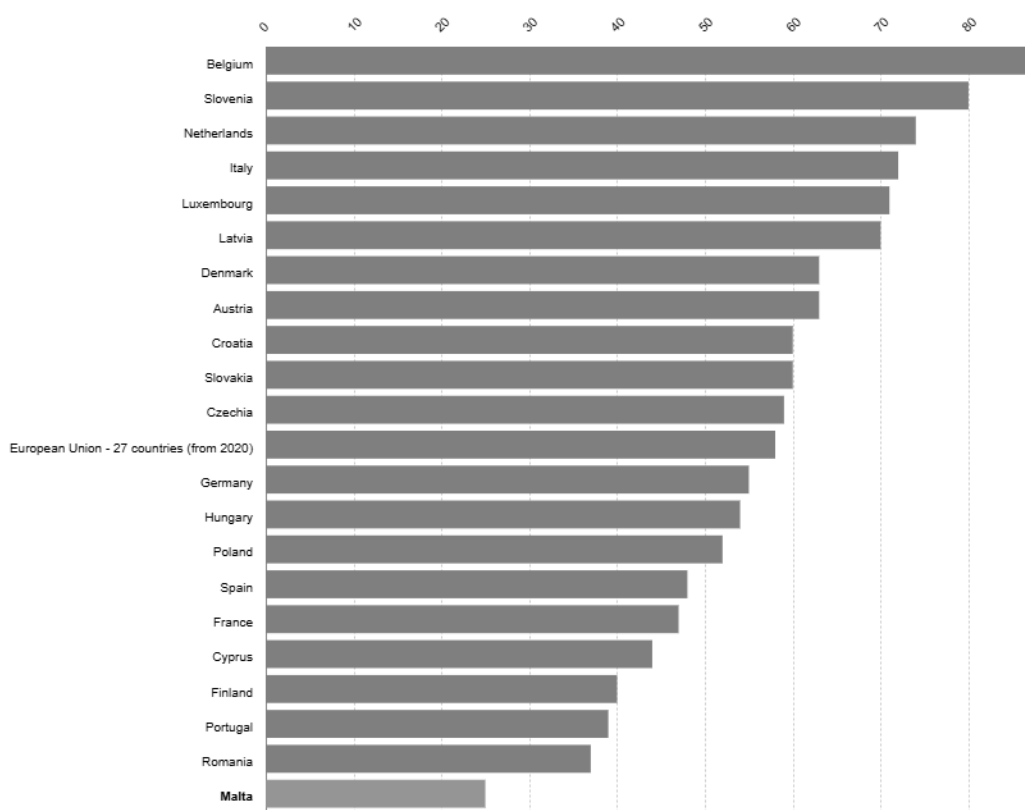
Źródło: European Commission (2020)

Poziom recyklingu odpadów budowlanych w krajach UE charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem, od wartości poniżej 10% do ponad 90% (European Commission, 2008). Choć niektóre państwa członkowskie już przekroczyły wyznaczone cele, duża część odzyskiwanych materiałów znajduje zastosowanie w procesach o niższej wartości dodanej. W celu promowania bardziej zrównoważonych praktyk budowlanych UE wprowadziła wytyczne dotyczące selektywnej rozbiórki oraz systemy segregacji materiałów (European Environment Agency, 2023). Dzięki tym inicjatywom odsetek recyklingu odpadów wzrósł z 27,3% w 2000 r. do 49,6% w 2021 r. (Europa Data, 2021). Większość państw członkowskich przekroczyła ustalony cel już w 2016 r., jednak w niektórych krajach sytuacja uległa pogorszeniu z powodu niedostatecznych inwestycji w infrastrukturę recyklingową oraz niską świadomość społeczną na temat segregacji i recyklingu. (Wykres 1).

W obliczu malejących zasobów naturalnych i rosnących kosztów ich pozyskiwania, recykling kruszyw RCA (Recycled Concrete Aggregate) staje się koniecznością. Proces ten przynosi korzyści zarówno środowiskowe, jak i ekonomiczne, zmniejszając koszty pozyskiwania nowych surowców oraz utylizacji odpadów (Babiak et al., 2017). Badania nad właściwościami mechanicznymi i trwałością kruszyw z recyklingu koncentrują się na opracowaniu betonu o wysokiej wytrzymałości, który spełnia wymagania sektora budowlanego (Alsheyab, 2022).

Recykling odpadów budowlanych zyskuje również na znaczeniu w Polsce. Rozwój w tym obszarze napotyka jednak liczne przeszkody, takie jak brak odpowiedniej infrastruktury recyklingowej. Zwiększenie wykorzystania materiałów z recyklingu mogłoby znacząco wspierać krajową gospodarkę cyrkularną, co jest kluczowe dla zrównoważonego rozwoju Polski. Inwestowanie w innowacyjne technologie oraz wprowadzenie zachęt finansowych mogłoby przyspieszyć wdrażanie materiałów z recyklingu na szeroką skalę, co z kolei przyczyniłoby się do wzrostu konkurencyjności polskiego sektora budowlanego. Rozwój recyklingu kruszyw RCA może także stwarzać nowe miejsca pracy w sektorze zielonych technologii oraz podnosić standardy środowiskowe w budownictwie.

Niniejszy artykuł omawia zastosowania kruszyw z recyklingu w kontekście globalnym i krajowym, uwzględniając wyzwania oraz korzyści związane z ich wykorzystaniem. W artykule dokonano analizy przepisów dotyczących recyklingu odpadów budowlanych w różnych krajach oraz ich wpływu na efektywność i wdrażanie praktyk recyklingowych. Na tym tle zaprezentowano aktualne praktyki oraz przyszłe perspektywy recyklingu kruszyw w Polsce, zwracając uwagę na istotne wyzwania społeczne, technologiczne i prawne.



Rysunek 1. Przetwarzanie części mineralnej odpadów budowlanych i rozbiórkowych (% przetworzonych odpadów) w krajach europejskich w 2020 r.

Źródło: *Przetwarzanie odpadów*, Urząd Statystyczny Unii Europejskiej (Eurostat, 2020)

2. Recykling kruszyw budowlanych na świecie.

Liderem w wykorzystaniu kruszyw pochodzących z recyklingu są Stany Zjednoczone, szczególnie w sektorze budowlanym. Kruszywa RCA znajdują szerokie zastosowanie w projektach infrastrukturalnych, takich jak budowa dróg, mostów i budynków. W USA badania nad recyklingiem kruszyw prowadzone są od lat 90. XX wieku, co zaowocowało licznymi publikacjami naukowymi oraz wdrożeniem nowoczesnych technologii inżynierskich. Przykładem takiej technologii jest zastosowanie kruszyw RCA do produkcji betonu o wysokiej wytrzymałości, wykorzystywanego w konstrukcjach mostowych i fundamentach budynków. Badania opublikowane w 2018 roku wykazały, że beton z recyklingu zapewnia porównywalną wytrzymałość i trwałość

w odniesieniu do tradycyjnych materiałów, przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów oraz emisji CO₂ (Smith et al., 2018). Ponadto, analizy z 2020 r. dotyczące mieszanek asfaltowych wskazały, że kruszywa z recyklingu mogą być z powodzeniem stosowane w budowie nawierzchni drogowych, zapewniając wysoką odporność na ścieranie oraz zmienne warunki atmosferyczne (Jones et al., 2020). Warto również zauważyć, że regulacje dotyczące recyklingu kruszyw w USA są bardziej elastyczne w porównaniu do Europy, co sprzyja innowacyjnym rozwiązaniom, ale nie narzuca tak rygorystycznych wymogów jak w UE.

Japonia i Chiny, mimo różniących się podejść regulacyjnych, coraz bardziej kładą nacisk na rozwój technologii recyklingu kruszyw, dążąc do zmniejszenia zużycia surowców naturalnych. Japonia, z uwagi na ograniczone zasoby, wprowadziła zaawansowane technologie umożliwiające

ponowne wykorzystanie odpadów budowlanych na dużą skalę, wspierane przez przepisy zachęcające do minimalizacji śladu węglowego (Takemoto et al., 2015; Yoshida et al., 2017). Kruszywa z recyklingu w Japonii są szeroko stosowane w produkcji betonu oraz budownictwie drogowym, gdzie ich zastosowanie pozwala na redukcję kosztów i ochronę środowiska. Chiny jako największy rynek budowlany, wdrożyły szereg inicjatyw promujących zrównoważone budownictwo oraz zwiększenie udziału materiałów z recyklingu, jednak ich regulacje są mniej rygorystyczne niż w Europie (Li & Xie, 2019). W Chinach kruszywa z recyklingu wykorzystywane są w różnych projektach budowlanych – od nawierzchni drogowych po konstrukcje budynków, co przyczynia się do ograniczenia zużycia surowców naturalnych i redukcji odpadów.

W Europie, a szczególnie w Niemczech i Holandii, przepisy dotyczące recyklingu materiałów budowlanych są znacznie bardziej restrykcyjne. Kraje te przodują w dziedzinie recyklingu, głównie dzięki regulacjom prawnym, które nakładają na firmy budowlane obowiązek minimalizacji odpadów budowlanych oraz stosowania materiałów z recyklingu. Niemcy wprowadziły zaawansowane przepisy dotyczące zarządzania odpadami budowlanymi, co stworzyło silny rynek kruszyw z recyklingu. Badania z 2016 r., przeprowadzone przez niemieckich naukowców, potwierdziły, że beton z recyklingu może być z powodzeniem stosowany w budownictwie drogowym, szczególnie w nawierzchniach, zapewniając wysoką jakość i trwałość materiałów, co jest istotne w kontekście zrównoważonego rozwoju (Müller et al., 2016). Kruszywa z recyklingu wykorzystywane są w Niemczech nie tylko w betonie, ale także w budownictwie drogowym, gdzie stosowane są w konstrukcji nawierzchni, przyczyniając się do zmniejszenia zużycia surowców naturalnych.

Holandia również wprowadziła regulacje promujące zrównoważone budownictwo, nakładając obowiązek wykorzystywania materiałów z recyklingu. To podejście przyczyniło się do tego, że około 95% pokruszonych odpadów betonowych wykorzystywanych jest jako podbudowa

drogowa, osiągając jakość porównywalną z naturalnymi materiałami (Silva et al., 2020). Badania van der Wielen z 2019 r. wykazały, że mieszanki asfaltowe z dodatkiem kruszyw RCA charakteryzują się wysoką wytrzymałością oraz odpornością na zmienne warunki atmosferyczne (van der Wielen et al., 2019). W Holandii kruszywa z recyklingu są także stosowane w projektach ekologicznych, które promują zrównoważony rozwój oraz efektywność energetyczną w budownictwie.

Różnice w politykach regulacyjnych między Stanami Zjednoczonymi, Europą i Azją odzwierciedlają odmienne podejścia do promowania zrównoważonego rozwoju w budownictwie. Europa stawia na rygorystyczne przepisy prawne, które wspierają rozwój rynku kruszyw z recyklingu. Stany Zjednoczone i Chiny koncentrują się bardziej na innowacjach technologicznych oraz inicjatywach wspierających recykling, jednak regulacje w tych krajach są mniej surowe. W rezultacie, podczas gdy europejskie przepisy zapewniają większą kontrolę nad wykorzystaniem materiałów z recyklingu, USA i Chiny mają bardziej elastyczne podejście do ich implementacji. Takie podejście sprzyja szybszemu rozwojowi nowych technologii, ale może ograniczać ich zastosowanie na szeroką skalę w projektach budowlanych. W efekcie, każdy z omawianych krajów, opierając się na lokalnych badaniach i regulacjach, rozwija swoje unikalne podejście do efektywnego wykorzystania kruszyw z recyklingu w budownictwie.

3. Recykling kruszyw budowlanych w Polsce.

Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach stanowi kluczowy akt prawny regulujący gospodarkę odpadami w Polsce. Zgodnie z nią, wytwórca odpadów budowlanych ma obowiązek ich odzysku, unieszkodliwienia lub przekazania podmiotom zajmującym się ich przetwarzaniem. Ważnym uzupełnieniem tych regulacji jest Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 10 listopada 2015 r., które określa listę odpadów, które osoby fizyczne oraz jednostki organizacyjne nieprowadzące działalności gospodarczej mogą poddawać odzyskowi na

potrzeby własne, wraz z dopuszczalnymi metodami ich przetwarzania.

Mimo licznych inicjatyw promujących recykling, wdrażanie tych działań w praktyce napotyka liczne wyzwania. Jednym z głównych problemów jest niewystarczająco rozwinięta infrastruktura w wielu regionach, co utrudnia efektywne segregowanie i przetwarzanie odpadów budowlanych. Dodatkowo niski poziom świadomości ekologicznej sprawia, że zarówno osoby prywatne, jak i firmy często nie przestrzegają przepisów dotyczących gospodarki odpadami. Recykling kruszyw wiąże się także z wysokimi kosztami, co zniechęca część przedsiębiorstw do korzystania z bardziej ekologicznych rozwiązań (Góralczyk, Kukielska, 2009).

Dodatkowym czynnikiem wpływającym na rozwój recyklingu w Polsce są zobowiązania wynikające z przepisów unijnych, takich jak Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE w sprawie odpadów. W 2016 r. recykling odpadów budowlanych wynosił 69,5%, jednak najnowsze dostępne raporty wskazują, że Polska nie osiągnęła wyznaczonego celu na 2020 rok – poziom recyklingu wyniósł około 65% (Komisja Europejska, 2022). Choć działania w tym zakresie stają się coraz intensywniejsze, pełne wdrożenie unijnych regulacji napotyka bariery związane z infrastrukturą oraz mechanizmami kontroli.

Wykorzystanie kruszyw pochodzących z recyklingu w Polsce do produkcji betonu wciąż jest ograniczone, choć notuje dynamiczny rozwój. Wprowadzenie normy europejskiej PN-EN 13108-8:2006 może przyczynić się do szerszego zastosowania kruszyw recyklingowych w projektowaniu mieszank betonowych oraz w budownictwie drogowym, w tym jako składnik mieszank mineralno-asfaltowych (MMA) (Sas, Sobańska, 2010). Badania nad optymalnymi recepturami betonu z wykorzystaniem kruszyw RCA mają na celu zapewnienie wysokich parametrów użytkowych i trwałości materiału. Wyniki wskazują, że wysokowartościowe kruszywo recyklingowe może skutecznie zastąpić naturalne kruszywo grube w elementach konstrukcyjnych, nie powodując istotnych

różnic w odkształceniach betonu w strefie ściskanej ani w ugięciach belek, mimo odmiennych składów projektowanych betonów (Sadowska-Buraczewska, 2014). W obecnych warunkach ekologicznych i ekonomicznych RCA może stanowić pełnowartościowy składnik betonu konstrukcyjnego. W przypadku betonów zwykłych występują jednak pewne ograniczenia w stosowaniu kruszyw RCA. Technologia produkcji drobnowymiarowych elementów betonowych, takich jak beton formowany metodą wibro-prasowania, szczególnie nadaje się do wykorzystania drobnych frakcji kruszyw recyklingowych (poniżej 4 mm), które mogą negatywnie wpływać na właściwości fizyczne betonu w innych zastosowaniach (Łój, 2018). Badania laboratoryjne wskazują, że kruszywa RCA mogą być z powodzeniem stosowane w produkcji prefabrykatów, takich jak kostka brukowa, bloczki czy pustaki betonowe, przy czym odpowiedni dobór parametrów pozwala uzyskać wymagane właściwości użytkowe.

Korzyści z zastosowania kruszyw z recyklingu w Polsce obejmują zarówno aspekty środowiskowe, jak i gospodarcze. Recykling odpadów budowlanych nie tylko ogranicza ilość odpadów trafiających na składowiska i zmniejsza emisję CO₂, ale także pozwala na zmniejszenie eksploatacji surowców naturalnych. W dłuższej perspektywie przyczynia się to do obniżenia kosztów związanych z wydobyciem i transportem kruszyw naturalnych. Rozwój branży recyklingu może również stymulować wzrost liczby miejsc pracy w sektorze przetwarzania odpadów i produkcji innowacyjnych materiałów budowlanych. Aby jednak w pełni wykorzystać te korzyści, niezbędne jest wsparcie finansowe dla przedsiębiorstw zajmujących się recyklingiem oraz stworzenie mechanizmów bodźców podatkowych i programów dofinansowania, które zachęciłyby firmy do inwestowania w technologie odzysku.

Kruszywa z recyklingu zyskują coraz większą popularność, szczególnie w polskim budownictwie drogowym. W ramach projektów badawczych opracowano nowe materiały, takie jak betonowe bloki, płytki, elementy drewniane

czy panele izolacyjne, które mogą być stosowane w różnych warstwach konstrukcyjnych nawierzchni drogowych, poprawiając ich trwałość oraz odporność na warunki atmosferyczne (Brycht, 2024). Kruszywo RCA charakteryzuje się dobrą wytrzymałością mechaniczną i niskim kosztem produkcji, a także poprawia nośność oraz odporność na deformacje gruntu (Wiśniewski i Kaczmarek, 2019). Przykłady jego zastosowania obejmują budowę i modernizację autostrad, takich jak autostrada A1, gdzie kruszywa z recyklingu zostały wykorzystane do podbudowy dróg oraz warstwy wzmacniającej. W Krakowie, podczas remontów dróg miejskich, kruszywo pochodzące z rozbiórki starych budynków użyto jako podbudowę i warstwę wzmacniającą nowych nawierzchni. W projektach modernizacji linii kolejowych, takich jak linia E30 (Wrocław – Kraków), RCA zastosowano do budowy podtorza i nasypów kolejowych. Modernizacja Mostu Grota-Roweckiego w Warszawie stanowi kolejny przykład zastosowania kruszywa z recyklingu, które zostało użyte do wzmocnienia fundamentów oraz budowy nasypów wokół mostu.

Pomimo rosnącego zainteresowania recyklingiem kruszyw, Polska nadal boryka się z licznymi wyzwaniami. Jakość kruszyw RCA może być niejednorodna ze względu na różnorodność materiałów odpadowych, co wymaga dalszego rozwoju technologii segregacji i oczyszczania surowca. Konieczna jest także współpraca międzynarodowa z krajami o bardziej rozwiniętej gospodarce odpadami, co mogłoby przyspieszyć wdrażanie nowych rozwiązań technologicznych oraz standaryzację procesów produkcji. Rosnące zapotrzebowanie na zrównoważone materiały budowlane oraz rozwój technologii recyklingu stwarzają znaczące perspektywy na przyszłość. Dalsze prace badawcze, innowacyjne rozwiązania technologiczne oraz odpowiednie wsparcie finansowe mogą sprawić, że kruszywa z recyklingu staną się kluczowym elementem w zrównoważonym rozwoju polskiego budownictwa.

4. Podsumowanie.

Porównanie globalnych i krajowych praktyk w zakresie recyklingu odpadów budowlanych oraz wykorzystania kruszyw z recyklingu ujawnia kilka kluczowych różnic i wyzwań. W Europie, szczególnie w Niemczech i Holandii, regulacje dotyczące recyklingu odpadów budowlanych są bardzo rygorystyczne, co znacząco stymuluje rozwój rynku kruszyw z recyklingu. Niemieckie przepisy nakładają na firmy budowlane obowiązek minimalizacji odpadów oraz maksymalizacji użycia materiałów z recyklingu, co prowadzi do szerokiego zastosowania kruszyw z recyklingu w budownictwie drogowym, mieszankach asfaltowych oraz betonie konstrukcyjnym. Holandia, dzięki rozwiniętemu systemowi sortowania i przetwarzania odpadów budowlanych, szeroko wykorzystuje RCA w budowie dróg, mieszankach betonowych i prefabrykowanych elementach budowlanych. Kraj ten jest przykładem skutecznego wdrażania zasad gospodarki o obiegu zamkniętym.

W Stanach Zjednoczonych elastyczność przepisów sprzyja innowacjom technologicznym w zakresie recyklingu kruszyw. Mniej restrykcyjne regulacje umożliwiają szybkie wdrażanie nowych technologii, co przekłada się na efektywne wykorzystanie materiałów z recyklingu w budownictwie. Kruszywa z recyklingu są stosowane w budowie dróg, mieszankach asfaltowych oraz betonach o niższej wytrzymałości, przy wykorzystaniu różnorodnych technologii recyklingu, które są dostosowane do lokalnych potrzeb.

Japonia i Chiny są przykładami krajów, które wykorzystują kruszywa z recyklingu w produkcji betonu o wysokiej wytrzymałości oraz w prefabrykowanych elementach budowlanych. Japonia, znana z zaawansowanych technologii recyklingu, efektywnie przetwarza i wykorzystuje RCA, co umożliwia szerokie zastosowanie tych materiałów w różnych projektach budowlanych. Z kolei Chiny również intensywnie inwestują w technologie recyklingu, stosując kruszywa z recyklingu

w różnorodnych projektach budowlanych, takich jak drogi, mosty i budynki, co przyczynia się do zmniejszenia zużycia surowców naturalnych.

W Polsce, mimo dostosowania do unijnych norm za pomocą normy PN-EN 13108-8:2006, regulacje dotyczące recyklingu są mniej rozwinięte, co stanowi barierę w dalszym rozwoju rynku kruszyw z recyklingu. Kruszywa te są głównie stosowane w budowie dróg, zwłaszcza w dolnych warstwach nawierzchni. Praktyczne wykorzystanie RCA w betonie napotyka jednak technologiczne ograniczenia. Poziom recyklingu odpadów budowlanych w Polsce wciąż pozostaje poniżej średniej unijnej, co wynika z niskiego poziomu świadomości ekologicznej, niedostatecznej infrastruktury oraz wysokich kosztów recyklingu.

Korzyści ekologiczne i ekonomiczne płynące z recyklingu kruszyw są dobrze udokumentowane w krajach z rozwiniętym systemem recyklingu. Obejmują one zmniejszenie emisji CO₂, ograniczenie eksploatacji surowców naturalnych oraz obniżenie kosztów materiałowych. Ponadto, recykling przyczynia się do tworzenia nowych miejsc pracy i wspiera innowacje w budownictwie. Dla Polski kluczowe będzie przyspieszenie rozwoju infrastruktury recyklingowej, poprawa świadomości ekologicznej oraz stworzenie skutecznych mechanizmów wsparcia. Tylko w ten sposób będzie możliwe zrealizowanie pełnego potencjału recyklingu oraz wykorzystanie związanych z nim korzyści ekologicznych i ekonomicznych.

Literatura:

[1]. Alsheyab, M.A. (2022) 'Recycled aggregates in construction: Benefits and challenges', *Journal of Sustainable Building Materials*, 5(2), pp. 112-130.

[2]. Babiak, J., Kowalski, P., Nowak, M. and Wójcik, K. (2017) 'Recycling of construction and demolition waste in Poland: Current situation and future trends', *Waste Management Review*, 12(1), pp. 45-52.

[3]. European Commission (2023) *Waste Framework Directive*. Available at: <https://ec.europa.eu/environment/topics/waste->

[and-recycling/waste-framework-directive_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en) (Accessed: 16 September 2024).

- [4]. European Environment Agency (2023) 'Construction and demolition waste: Challenges and opportunities', *EEA Waste Report*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/construction-and-demolition-waste-challenges> (Accessed: 16 September 2024).
- [5]. Europa Data (2021) *Municipal waste recycling rates in the EU*. Available at: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/76/waste-management> (Accessed: 16 September 2024).
- [6]. Global Waste Management Outlook (2022) 'Global construction waste: Challenges and strategies for sustainable management'. Available at: <https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook> (Accessed: 16 September 2024).
- [7]. US Environmental Protection Agency (EPA) (2019) *Construction and Demolition Debris Generation in the United States, 2018*. Available at: <https://www.epa.gov/factsheets/construction-and-demolition-waste> (Accessed: 16 September 2024).
- [8]. Smith, J., Johnson, R., & Williams, L. (2018). *Recycled Concrete Aggregate in Road Construction: A Study of Performance and Durability*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(5), 04018025. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001473
- [9]. Jones, M., Taylor, P., & Green, D. (2020). *Recycled Aggregates in Asphalt Mixtures: Performance Evaluation and Economic Analysis*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(9), 04020233. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003445
- [10]. Müller, A., Fischer, H., & Schubert, P. (2016). *Recycled Concrete Aggregates in Road Construction: German Case Studies and Practical Applications*. *Construction and Building Materials*, 124, 475-483. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.07.132
- [11]. van der Wielen, K., De Vries, W., & Bakker, P. (2019). *Performance of Recycled Aggregates in Asphalt Mixtures for Road Construction*. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 4(3), 188-197. doi:10.1080/23311932.2019.1618495
- [12]. Guerra, B., Leite, F., & Geyer, R. (2020). *RE4 Project: Recycling and Reuse of Construction and Demolition Waste for Sustainable Building*. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118556. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118556
- [13]. Takemoto, T., Nakamura, S., & Kuroda, Y. (2015). *High-Strength Concrete Made with*

- Recycled Aggregates: Performance and Durability. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 13(3), 113-124. doi:10.3151/jact.13.113
- [14]. Yoshida, H., Takagi, S., & Fujita, T. (2017). Life Cycle Assessment of Recycled Aggregates in Construction: A Case Study from Japan. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3686-3694. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.10.026
- [15]. Zhang, L., Wang, Y., & Zhao, J. (2018). Performance of Recycled Aggregate Asphalt Mixtures in Road Construction in China. *Construction and Building Materials*, 168, 377-385. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.02.144
- [16]. Li, X., & Xie, J. (2019). Promoting Sustainable Construction in China: Policies and Practices. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101560. doi: 10.1016/j.scs.2019.101560
- [17]. Bideci, Ö. S., Bideci, A., Gültekin, A. H., Oymael, S., Yildirim, H., 2014. Agregaty pumeksowe powlekane polimerami i ich właściwości, *Composites: Part B* 67, 239-243.
- [18]. Thomas, C., Cimentada, A., Polanco, J. A., Setián J., Méndez, D., Rico, J., 2013. Influence of recycled aggregates containing sulphur on properties of recycled aggregate mortar and concrete, *Composites: Część B* 45, 474-485.
- [19]. Colangelo, F., Cioffi, R., Liguori, B., Iucolano, F., 2016. Odpady poliolefinowe z recyklingu jako kruszywo do betonu lekkiego *Composites Part B* 106, 234e241.
- [20]. Yan, K., Li, G., You, L., Zhou, Y., Wu, S., 2020. Ocena właściwości użytkowych otwartego makadamu stabilizowanego cementem zawierającego kruszywo z recyklingu *Construction and Building Materials* ,233, 10 117326. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117326>
- [21]. Kawale, A. P., Umare, M., Shende, A., 2020. Wpływ zastąpienia kruszywa drobnego i grubego odpadami fabrycznymi i odpadami budowlanymi na wytrzymałość betonu na ściskanie *Journal of Seybold Report* 15 -9.
- [22]. Santos, S. M. N., Poulidakos, L. D., 2015. Od asfaltu pierwotnego do pochodzącego z recyklingu: A microstructural view, *Composites Part B* 80, 177e185.
- [23]. Iskender, E., 2013. Rutting evaluation of stone mastic asphalt for basalt and basalt-limestone aggregate combinations, *Composites: Część B* 54, 255-264.
- [24]. Iskender, E., 2013. Rutting evaluation of stone mastic asphalt for basalt and basalt-limestone aggregate combinations, *Composites: Część B* 54, 255-264.
- [25]. Khalaf, F.M., i De Venny, A. S., 2004. Recykling rozebranego gruzu murarskiego jako kruszywa w betonie: przegląd, *ASCE Journal of Material In Civil Engineering*, 16: 331-340.
- [26]. Gonçalves, P. i Brito, J., 2010. Recycled aggregate concrete (RAC) - comparative analysis of existing specifications, *Magazine of Concrete Research*, 62:339-346.
- [27]. Góralczyk, S., & Kukielska, D. (2009). Zawartość uwalnianych substancji niebezpiecznych w kruszywach, szczególnie sztucznych iz recyklingu-regulacje prawne. *Przegląd Górniczy*, 65, 52-59.
- [28]. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach, Dz.U. 2001 nr 62 poz. 628.
- [29]. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 10 listopada 2015 r. w sprawie katalogu odpadów, Dz.U. 2015 poz. 1876.
- [30]. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów i uchylająca niektóre dyrektywy, Dz.U. L 312, 22.11.2008, s. 3-30.
- [31]. Plan Be (2023) Ślad węglowy w branży budowlanej – znaczenie, wyzwania i przyszłość. Dostępne na: <https://planbe.eco>
- [32]. PN-EN 1097:2000-2002 Badanie mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw
- [33]. PN-EN 12620:2002+A1:2008 Kruszywa do betonu.
- [34]. Sas, W., & Sobanska, K. (2010). Recykling jako sposób zagospodarowania odpadów powstających przy remontach dróg. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 19(1 [47]).
- [35]. Sas, W., & Sobanska, K. (2010). Recykling jako sposób zagospodarowania odpadów powstających przy remontach dróg. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 19(1 [47]).
- [36]. Łój, G. (2018). Możliwości stosowania kruszyw z recyklingu budowlanego do wytwarzania betonów wibroprosowanych. *Budownictwo, Technologie, Architektura* (3), 56-61.
- [37]. Brycht, N. (2024). Problem recyklingu odpadów budowlanych w Polsce. W: Blikharskyy, Z., Koszelnik, P., Lichołai, L., Nazarko, P., Katunský, D. (red.) *Proceedings of CEE 2023. CEE 2023. Lecture Notes in Civil Engineering*, tom 438. Springer, Cham.
- [38]. Wiśniewski, P., Kaczmarek, M. (2019). Stabilizacja gruntu za pomocą kruszyw z gruzu budowlanego. *Inżynieria Lądowa i Wodna*.
- [39]. Komisja Europejska. (2022). "Assessment of the implementation of the Waste Framework Directive (2008/98/EC) and the Packaging and Packaging Waste Directive (94/62/EC)".
- [40]. Smith, J. & Jones, A. (2020). The chemical composition of construction and demolition waste and its environmental impacts. *Journal of Environmental Management*, 260, 110-123. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110123.

Streszczenie

Recykling kruszyw budowlanych jest kluczowym elementem zrównoważonego rozwoju w budownictwie, zarówno na poziomie globalnym, jak i krajowym. W Unii Europejskiej odpady budowlane i rozbiórkowe stanowią największy strumień odpadów objęty celami recyklingu, z założonym poziomem odzysku wynoszącym 70%. W krajach takich jak Niemcy i Holandia, rygorystyczne przepisy i skuteczne systemy zarządzania odpadami sprzyjają szerokiemu wykorzystaniu kruszyw z recyklingu w budownictwie drogowym i betonowym. USA, dzięki elastycznym regulacjom, sprzyjają innowacjom technologicznym, a Japonia i Chiny rozwijają zaawansowane technologie recyklingu.

W Polsce, mimo postępów, recykling kruszyw budowlanych napotyka na istotne wyzwania, takie jak niedostateczna infrastruktura, niska świadomość ekologiczna oraz wysokie koszty. Choć kraj dostosował przepisy do unijnych norm, pełne wdrożenie pozostaje problematyczne. Kruszywa z recyklingu są wykorzystywane głównie w budowie dróg, a ich zastosowanie w betonie jest jeszcze ograniczone. Aby w pełni wykorzystać potencjał recyklingu, Polska potrzebuje lepszej infrastruktury, wsparcia finansowego oraz zwiększenia świadomości ekologicznej. Tylko poprzez te działania możliwe będzie osiągnięcie pełnych korzyści ekologicznych i ekonomicznych płynących z recyklingu kruszyw.

Słowa kluczowe: zrównoważone budownictwo, recykling betonu, kruszywa rca, normy recyklingu, technologie przetwarzania.

Abstract

Recycling construction aggregates is a key component of sustainable development in the construction industry, both globally and nationally. In the European Union, construction and demolition waste is the largest waste stream covered by recycling targets, with a target recovery rate of 70%. In countries such as Germany and the Netherlands, stringent regulations and effective waste management systems encourage the widespread use of recycled aggregates in road and concrete construction. The US, with its flexible regulations, is fostering technological innovation, and Japan and China are developing advanced recycling technologies.

In Poland, despite progress, recycling of construction aggregates faces significant challenges, such as inadequate infrastructure, low environmental awareness and high costs. Although the country has aligned regulations with EU standards, full implementation remains problematic. Recycled aggregates are mainly used in road construction, and their use in concrete is still limited. To fully realize the potential of recycling, Poland needs better infrastructure, financial support and increased environmental awareness. Only through these measures will it be possible to achieve the full environmental and economic benefits of aggregate recycling.

Keywords: sustainable construction, concrete recycling, rca aggregates, recycling standards, processing technologies.

dr Olga Janikowska¹⁾ mgr Magdalena Byrtek²⁾

1) Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

2) Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

Wybrane inicjatywy na rzecz przeciwdziałania ubóstwu energetycznemu na świecie w kontekście transformacji energetycznej

Wstęp

Zmiany klimatyczne potęgują wiele globalnych problemów – od topnienia lodowców i wzrostu poziomu oceanów, przez coraz częstsze huragany, pożary lasów i ekstremalne fale upałów. Według Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu (UNFCCC, 2023), zmiany klimatyczne to modyfikacje w globalnej atmosferze, wywołane bezpośrednio lub pośrednio przez działalność człowieka, które wzmacniają naturalną zmienność klimatyczną w podobnych skalach czasowych (Brodziński 2022). Oprócz wpływu na środowisko, oddziałują one także na dynamikę demograficzną, prowadząc do migracji klimatycznej i generując istotne wyzwania społeczno-ekonomiczne. Redukcja emisji gazów cieplarnianych jest kluczowa nie tylko dla ochrony zasobów i ekosystemów, ale także dla zapewnienia dobrostanu przyszłym pokoleniom. Według Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA, 2021) transformacja energetyczna polega na stopniowym odchodzeniu od systemu opartego na paliwach kopalnych, takich jak węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny, na rzecz systemu zdominowanego przez odnawialne źródła energii, w tym energię wiatrową, słoneczną, wodną oraz geotermalną. Proces ten obejmuje także zwiększenie efektywności energetycznej, dekarbonizację kluczowych sektorów gospodarki, takich jak transport i przemysł, oraz integrację czystszych technologii z sieciami energetycznymi (Brunner 2012). Transformacja energetyczna dąży nie tylko do redukcji emisji gazów cieplarnianych i przeciwdziałania zmianom klimatycznym, lecz także do budowy bardziej zrównoważonego i odpornego systemu energetycznego (Boardman 1991). Wśród dodatkowych korzyści znajduje się zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego, ograniczenie zależności od nieodnawialnych

zasobów oraz wsparcie działań na rzecz ochrony środowiska i podniesienia jakości życia społeczności (IEA, 2021). Transformacja energetyczna wymaga stopniowego przekształcania systemów, instytucji i procesów poprzez etapy adaptacji, reorganizacji i innowacji, aby sprostać zmieniającym się warunkom i celom (Tsoukas i Chia, 2002). Chociaż transformacja energetyczna z jednej strony, obiecuje bardziej zrównoważoną przyszłość, walkę ze zmianami klimatycznymi, rozwój gospodarki i innowacji, wzrost bezpieczeństwa energetycznego, poprawę jakości życia, technologiczny postęp i innowacje (Bouzarovski 2014). To z drugiej strony niesie ze sobą szereg potencjalnych zagrożeń, które wynikają z wieloaspektowego i globalnego charakteru tego procesu. Wśród ekonomicznych i społecznych zagrożeń związanych z transformacją energetyczną wymienić należy; zaburzenia dla rynku pracy, dalsze pogłębianie się nierówności społecznych, podwyżki cen energii, wysokie koszty inwestycji, protesty społeczne, a także pogłębianie się zjawiska ubóstwa energetycznego (Akçaba, i Eminer 2022). Celem artykułu jest analiza ubóstwa energetycznego w kontekście transformacji energetycznej na poziomie globalnym.

1. Ubóstwo Energetyczne jako problem Globalny.

Ubóstwo energetyczne to wieloaspektowe pojęcie, które może być różnie interpretowane. Najczęściej rozumiane jest z jednej strony jako brak dostępu do elektryczności, z drugiej jako uzależnienie od nieefektywnych źródeł energii, takich jak spalanie biomasy stałej (Bouzarovski, 2014). O ubóstwie energetycznym mówimy, gdy gospodarstwa domowe nie są w stanie zaspokoić swoich podstawowych potrzeb energetycznych

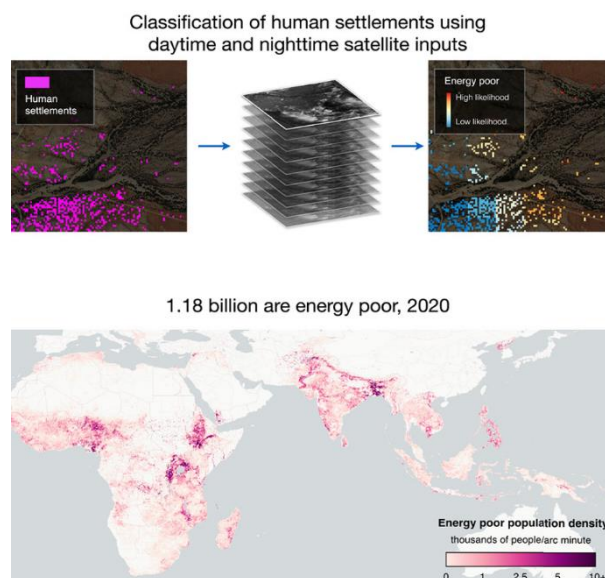
(EC 2023). W rezultacie doświadczają one trudności w utrzymaniu komfortowej temperatury w pomieszczeniach oraz ograniczonego dostępu do podstawowych usług, takich jak ogrzewanie, chłodzenie czy korzystanie z urządzeń elektronicznych (Brodziński 2022). Zgodnie z definicją Banku Światowego, ubóstwo energetyczne oznacza brak dostępu do przystępnych cenowo, niezawodnych, zrównoważonych i nowoczesnych usług energetycznych (Brodny 2022) (Rys.1). Przyczyny tego zjawiska są złożone i wynikają przede wszystkim z wysokich kosztów energii w stosunku do dochodów gospodarstw domowych, niskich dochodów oraz niewystarczającej efektywności energetycznej budynków i urządzeń (Cohen et al. 2021). Charakteryzując ubóstwo energetyczne jako problem globalny, należy podzielić tę kategorię na kilka kluczowych obszarów problemowych. Najważniejsza jest skala tego zjawiska – szacuje się, że około 759 milionów ludzi na świecie nie ma dostępu do energii elektrycznej. Problem ten jest szczególnie dotkliwy w Afryce Subsaharyjskiej i Azji Południowej, gdzie znaczne populacje pozostają odłączone od nowoczesnej infrastruktury energetycznej (UN 2015). Kolejno geograficzne skupienie problemu. Największa koncentracja ubóstwa energetycznego występuje w Afryce Subsaharyjskiej i Azji Południowej, gdzie infrastruktura energetyczna jest słabo rozwinięta. Obszary te są szczególnie narażone na skutki ubóstwa energetycznego ze względu na ograniczone możliwości inwestycyjne oraz szybki wzrost populacji (Gierszewski et al. 2021). Dodatkowo społeczne i gospodarcze konsekwencje. Ubóstwo energetyczne znacząco obniża jakość życia. Gospodarstwa domowe pozbawione odpowiedniego ogrzewania czy elektryczności doświadczają trudności w wykonywaniu codziennych czynności, co często prowadzi do izolacji społecznej (Karageorgou 2023). Brak dostępu do niezawodnych źródeł energii wpływa również na edukację. W ten sposób ubóstwo energetyczne przyczynia się do utrwalenia cyklu ubóstwa i pogłębiania nierówności społecznych. Dodatkowo brak dostępu do energii elektrycznej ogranicza rozwój gospodarczy (Sovacool et al. 2017). A także wpływ na zdrowie i jakość życia. Ubóstwo energetyczne ma również poważne konsekwencje zdrowotne. Słaba izolacja i niewystarczające ogrzewanie zwiększają ryzyko chorób układu oddechowego i krążenia. Zimne i wilgotne domy mogą pogarszać stan zdrowia osób z przewlekłymi schorzeniami, a stres związany z brakiem

możliwości utrzymania komfortowego środowiska domowego może prowadzić do zaburzeń psychicznych (IEA 2023). W kontekście ubóstwa energetycznego odbiorca wrażliwy to osoba, która szczególnie odczuwa trudności w zapewnieniu sobie odpowiednich usług energetycznych bez znaczącego kompromisu dla swojego dobrostanu lub konieczności przeznaczania nieproporcjonalnie dużej części dochodów na rachunki za energię elektryczną. Podatność ta może być związana z okolicznościami osobistymi, statusem społeczno-ekonomicznym lub nagłymi, nieprzewidywanymi wyzwaniami (Yiasoumas et al. 2023). Do grup szczególnie zagrożonych ubóstwem energetycznym należą:

- Gospodarstwa domowe o niskich dochodach;
- Osoby starsze, zwłaszcza mieszkające samotnie;
- Osoby z niepełnosprawnościami, które mogą mieć dodatkowe potrzeby energetyczne;
- Rodziny monoparentalne, często obciążone dodatkowymi kosztami życia;
- Mieszkańcy budynków o niskim standardzie, które wymagają dużych nakładów na ogrzewanie i izolację termiczną.

Ze względu na szczególną podatność tych grup na negatywne skutki ubóstwa energetycznego, konieczne jest wdrażanie ukierunkowanych działań i polityk mających na celu zmniejszenie ich zagrożenia. Odpowiednio zaprojektowane strategie mogą nie tylko poprawić ich warunki życia, ale także przyczynić się do zmniejszenia nierówności społecznych (Boardman 1991).

Rysunek 1. Ubóstwo energetyczne na świecie.



Źródło: Min, B., O’Keeffe, Z.P., Abidoye, B., Gaba, K.M., Monroe, T., Stewart, B.P., Baugh, K., Sánchez-Andrade Nuño, B., 2024. **Badanie ubóstwa energetycznego z kosmosu**. Joule. ISSN 2542-4351. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.05.001> [Dostęp 26 czerwca 2024].

2. Walka z ubóstwem energetycznym na poziomie globalnym

Walka z ubóstwem energetycznym na poziomie globalnym jest kluczowa przyczyni się do: zmniejszania globalnych nierówności, wsparcia rozwoju gospodarczego, poprawy jakości życia, zdrowia i edukacji, szczególnie w krajach rozwijających się (Wu et al. 2021). Globalne działania w tym zakresie pomagają również w walce ze zmianami klimatycznymi, promując odnawialne źródła energii i redukując emisje. Zaspokojenie potrzeb energetycznych najuboższych zwiększa stabilność społeczną, ogranicza migracje klimatyczne i konflikty, jednocześnie tworząc szansę na zrównoważony rozwój i innowacje technologiczne. Poniżej omówiono najistotniejsze inicjatywy o charakterze poza europejskim, których celem jest walka z ubóstwem energetycznym.

Lighting Africa:

Brak dostępu do energii elektrycznej dotyka mieszkańców Afryki Subsaharyjskiej, szczególnie na obszarach wiejskich. W odpowiedzi na to wyzwanie Bank Światowy i Międzynarodowa Korporacja Finansowa (IFC), największa międzynarodowa organizacja finansowa udzielająca pomocy finansowej sektorowi prywatnemu i spółdzielczemu krajów rozwijających się, stworzyły program Lighting Africa, który ma na celu dostarczenie przystępnych cenowo i niezawodnych rozwiązań energetycznych tym, którzy żyją poza zasięgiem tradycyjnych sieci energetycznych. (World Bank (2023). "*Lighting Africa: Progress Report 2023*") Lighting Africa koncentruje się na promowaniu technologii opartych na energii słonecznej, takich jak przenośne lampy solarne i systemy oświetleniowe dla gospodarstw domowych. Dzięki temu mieszkańcy odległych wiosek mogą zrezygnować z niebezpiecznych i kosztownych lamp naftowych, zastępując je czystszy i bardziej efektywnymi źródłami światła. Program podkreśla również rolę energii w poprawie jakości życia – dzieci mogą uczyć się po zmroku, wzrasta bezpieczeństwo w domach i społecznościach, a lokalne przedsiębiorstwa rozwijają się dzięki lepszemu dostępowi do oświetlenia. Kluczowym

elementem Lighting Africa jest wspieranie lokalnych rynków. Program szkoli przedsiębiorców w zakresie sprzedaży, dystrybucji i serwisowania produktów solarnych, tworząc miejsca pracy i budując sieci dystrybucji docierające do najodleglejszych regionów. Innowacyjne modele finansowania, takie jak „pay-as-you-go”, pozwalają gospodarstwom domowym na zakup systemów solarnych w przystępnych ratach, co czyni tę technologię dostępną nawet dla najuboższych. Od czasu rozpoczęcia działalności Lighting Africa poprawił dostęp do energii dla ponad 48 milionów ludzi w Afryce. Program działa w takich krajach jak Kenia, Nigeria, Ghana czy Senegal, znacząco wpływając na zmniejszenie emisji dwutlenku węgla i poprawę zdrowia publicznego poprzez eliminację zanieczyszczeń generowanych przez tradycyjne źródła światła. Lighting Africa to nie tylko program energetyczny, ale także inicjatywa zmieniająca życie milionów ludzi. Dzięki energii słonecznej mieszkańcy Afryki zyskują szansę na lepszą przyszłość – z czystsza, bezpieczniejszą i bardziej przystępną energią.

Power Africa:

To inicjatywa rządu Stanów Zjednoczonych, której celem jest zwiększenie dostępu do energii elektrycznej w Afryce Subsaharyjskiej, szczególnie w regionach, gdzie dostęp do energii jest ograniczony lub całkowicie niemożliwy. Program został uruchomiony w 2013 r. przez USAID, a jego głównym celem jest poprawa jakości życia poprzez rozwój infrastruktury energetycznej i wspieranie zrównoważonych źródeł energii. (USAID (2022) "*Power Africa Annual Report*"). Power Africa koncentruje się na zwiększeniu mocy wytwórczych w regionie poprzez wspieranie projektów infrastrukturalnych, takich jak budowa nowych elektrowni, modernizacja istniejących sieci energetycznych oraz rozwój technologii odnawialnych źródeł energii, w tym energii słonecznej, wiatrowej, geotermalnej i wodnej. Jednym z kluczowych założeń inicjatywy jest zapewnienie dostępu do energii elektrycznej dla 60 milionów mieszkańców Afryki do 2030 r., co stanowi ogromne wyzwanie, biorąc pod uwagę, że ponad połowa ludności Afryki subsaharyjskiej wciąż nie ma dostępu do podstawowej energii elektrycznej. Program Power Africa jest szeroko zakrojony i angażuje wiele interesariuszy – od rządów afrykańskich, przez międzynarodowe organizacje finansowe, po sektor prywatny. Dzięki temu, w ramach Power Africa, realizowane są liczne projekty, które zwiększają produkcję

energii, modernizują istniejącą infrastrukturę i umożliwiają dostęp do energii odnawialnej. Kluczowym elementem tego programu jest również wspieranie innowacyjnych rozwiązań finansowych, które pomagają w realizacji projektów energetycznych, w tym mikrofinansowanie i mechanizmy wspierające prywatne inwestycje w sektorze energetycznym. Power Africa wyróżnia się również podejściem do rozwijania zdolności zarządzania i operowania w sektorze energetycznym, zapewniając szkolenia i wsparcie techniczne dla lokalnych rządów oraz przedsiębiorstw. Program promuje również rozwój małych i średnich projektów energetycznych, które przyczyniają się do zwiększenia niezależności energetycznej i rozwoju gospodarczego w regionach wiejskich. Do tej pory Power Africa pomógł w uruchomieniu setek projektów, które zapewniły energię elektryczną dla milionów ludzi, a także stworzył tysiące nowych miejsc pracy w sektorze energetycznym. Program przyczynił się również do zmniejszenia ubóstwa energetycznego w Afryce, poprawiając warunki życia i otwierając nowe możliwości rozwoju społecznego i gospodarczego. cPower Africa to jeden z najbardziej ambitnych programów energetycznych na świecie, który nie tylko poprawia dostęp do energii, ale również wspiera zrównoważony rozwój, czystą energię i innowacje technologiczne w jednym z najszybciej rozwijających się regionów świata.

Organizacja SEforALL:

Są to globalne przedsięwzięcie, którego celem jest promowanie dostępu do czystej, niedrogiej i niezawodnej energii dla wszystkich ludzi na całym świecie. SEforALL działa na rzecz realizacji Celu Zrównoważonego Rozwoju nr 7 ONZ, który zakłada zapewnienie powszechnego dostępu do energii, poprawę efektywności energetycznej i zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii do 2030 roku. Według raportu SEforALL Annual Report 2023 (Sustainable Energy for All (SEforALL). (2023). *"Annual Report 2023: Accelerating SDG7 Progress"*) problem ten jest szczególnie dotkliwy w regionach Afryki Subsaharyjskiej i Azji Południowej, gdzie około 660 milionów osób nadal nie ma dostępu do energii elektrycznej, a ponad 2 miliardy korzysta z tradycyjnych i zanieczyszczających źródeł energii do gotowania. Brak dostępu do czystej energii prowadzi nie tylko do degradacji środowiska, ale również do poważnych problemów zdrowotnych, takich jak choroby układu oddechowego oraz utrudnia rozwój

gospodarczy społeczności. Organizacja SEforALL prowadzi intensywne działania, aby zaradzić tej sytuacji, łącząc transformację energetyczną z walką ze skutkami zmian klimatu. W wielu krajach rozwijających się, takich jak Madagaskar i Sierra Leone, wdraża się mini-sieci zasilane energią odnawialną, które znacząco poprawiają jakość życia mieszkańców i funkcjonowanie placówek zdrowotnych. Jednocześnie organizacja mobilizuje środki finansowe na budowę infrastruktury energetycznej. Kluczową rolę w tej transformacji odgrywa program Energy Compacts, który angażuje rządy, organizacje pozarządowe oraz sektor prywatny do realizacji działań przyspieszających globalne przejście na czystą energię.

Program Energy Compacts został stworzony w odpowiedzi na potrzebę osiągnięcia celu SDG7, zakładającego powszechny dostęp do przystępnej cenowo i czystej energii do 2030 r. Uczestnicy tego programu podejmują dobrowolne zobowiązania obejmujące zapewnienie elektryczności społecznościom wykluczonym energetycznie, rozwój odnawialnych źródeł energii oraz poprawę efektywności energetycznej, co pozwala zmniejszyć koszty i emisję gazów cieplarnianych. Od momentu jego uruchomienia w 2021 r. udało się zgromadzić inwestycje o łącznej wartości 1,3 biliona dolarów, które finansują projekty takie jak elektryczne systemy gotowania czy mikro-sieci zasilane energią słoneczną. Przykładowo, Indie zobowiązały się do zwiększenia udziału energii odnawialnej w swoim miksie energetycznym, podczas gdy w Kenii i Nigerii rozwijane są lokalne sieci solarne i wiatrowe. Również firmy, takie jak Schneider Electric, angażują się w szkolenia zawodowe oraz rozwój technologii energetycznych w społecznościach wiejskich. Choć działania SEforALL przynoszą wymierne efekty, droga do zapewnienia powszechnego dostępu do czystej energii jest jeszcze długa. Organizacja podkreśla, że konieczne są większe inwestycje, rozwój innowacyjnych technologii oraz wsparcie polityczne, aby zredukować nierówności energetyczne i przeciwdziałać skutkom zmian klimatu. Raport SEforALL podkreśla, że bez przyspieszenia działań wyzwania związane z kryzysem energetycznym i klimatycznym będą się pogłębiać. Jednakże zintegrowane podejście łączące współpracę międzynarodową, inwestycje i lokalne inicjatywy daje nadzieję na przyszłość, w której energia stanie się dobrem dostępnym dla każdego, niezależnie od miejsca zamieszkania.

Do globalnego monitorowania dostępu do energii i elektryfikacji za pomocą danych satelitarnych, zbieranych przez satelity NOAA, o świetle nocnym zaistniał projekt: "Light Every Night" Światowego Banku (World Bank Group (2023). "*Light Every Night: Satellite Data and Global Electrification Trends*"). Projekt ten udostępnia zestaw danych satelitarnych dotyczących światła nocnego, które obejmują ponad 30 lat. Zebrane informacje umożliwiają śledzenie dostępu do energii, aktywności gospodarczej oraz analizowanie zjawisk związanych z rozwojem. Dane te pomagają ocenić stopień elektryfikacji na świecie, identyfikować obszary bez dostępu do energii oraz monitorować zmiany w zużyciu energii. Zestaw danych jest publicznie dostępny, wspierając decyzje dotyczące polityk energetycznych i zrównoważonego rozwoju.

Podsumowanie

Transformacja energetyczna, definiowana jako przejście na zrównoważone i odnawialne źródła energii, stanowi jedno z najważniejszych wyzwań współczesnego świata. Problem ubóstwa energetycznego, rozumiany jako brak dostępu do nowoczesnych, bezpiecznych i przystępnych cenowo źródeł energii, wywiera negatywny wpływ na jakość życia, zdrowie, edukację oraz możliwości rozwoju społecznego i gospodarczego. Co istotne ubóstwo energetyczne postrzegane może być jako problem o charakterze globalnym. W tym kontekście transformacja energetyczna stwarza szansę na redukcję ubóstwa energetycznego, pod warunkiem wdrożenia skoordynowanych działań na poziomie globalnym. Zapewnienie równego dostępu do energii wymaga działań uwzględniających specyficzne potrzeby najuboższych, zwłaszcza w krajach rozwijających się. W tym kontekście szczególne znaczenie mają międzynarodowe inicjatywy, takie jak Power Africa, Lighting Africa czy SEforALL, które łączą wysiłki sektora publicznego i prywatnego, tworząc platformy współpracy na rzecz zrównoważonego rozwoju energetycznego. Dokładne dane dotyczące globalnych wydatków na walkę z ubóstwem energetycznym są trudne do oszacowania ze względu na różnorodność programów i inicjatyw prowadzonych na różnych poziomach. Jednakże, według raportu SEforALL Annual Report 2023, od momentu uruchomienia programu Energy Compacts w 2021 roku zgromadzono zobowiązania inwestycyjne o łącznej wartości około 1,3 biliona dolarów na rzecz realizacji Celu

Zrównoważonego Rozwoju nr 7 (SDG7). **Sustainable Energy for All | SEforALL.**

Tabela 1. Wskaźniki podstawowe globalnego postępu w kierunku celów SDG7.

Wskaźnik	Opis	2015	Ostatni rok
7.1.1	Proporcja populacji z dostępem do energii elektrycznej	957,5 mln osób bez dostępu	685 mln osób bez dostępu (2022)
7.1.2	Proporcja populacji opierającej się głównie na czystych paliwach i technologiach do gotowania	2,7 mld osób bez dostępu	2,1 mld osób bez dostępu (2022)
7.2.1	Udział energii odnawialnej w całkowitym końcowym zużyciu energii	16,7%	18,7% (2021)
7.3.1	Energochłonność mierzona jako stosunek energii pierwotnej do PKB	4,9 MJ/USD	4,6 MJ/USD (2021)
7.a.1	Międzynarodowe przepływy finansowe na rzecz czystej energii, badań i rozwoju	12,3 mld USD	15,4 mld USD (2022)
7.b.1	Zainstalowana zdolność generowania energii odnawialnej na osobę	250 watów/osobę	424 waty/osobę (2022)

Źródło: Sustainable Energy for All | SEforALL

Są to dobrowolne zobowiązania różnych interesariuszy, mające na celu poprawę dostępu do energii, zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii oraz poprawę efektywności energetycznej. Jednakże, według raportu Energy Compacts Annual Progress Report 2023, do września 2023 roku zmobilizowano lub wykorzystano 69 miliardów dolarów z tych zobowiązań.) Oznacza to, że znaczna część zadeklarowanych środków czeka jeszcze na uruchomienie i realizację w konkretnych projektach.

Literatura:

- [1]. Akçaba, S. and Eminer, F. (2022) 'Sustainable energy planning for the aspiration to transition from fossil energy to renewable energy in Northern Cyprus', *Heliyon*, 8(6). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09813>
- [2]. Bouzarovski, S. (2014) 'Energy poverty in the European Union: landscapes of vulnerability', *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 3(3), pp. 276-289.
- [3]. Brunner, K.M., Spitzer, M. and Christanell, A. (2012) 'Experiencing fuel poverty: Coping strategies of low-income households in Vienna/Austria', *Energy Policy*, 49, pp. 53-59.
- [4]. Brodziński, B.W. (2022) 'Just transition – the first pillar of Poland's energy policy until 2040 – legal, economic and social aspects', *Polityka Energetyczna*, 25(2). Available at: <https://doi.org/10.33223/epj/150745>.
- [5]. Brodny, J. and Tutak, M. (2022) 'Challenges of the Polish coal mining industry on its way to innovative and sustainable development', *Journal of Cleaner Production*, 375. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134061>.
- [6]. Cohen, B. et al. (2021) 'Co-benefits and trade-offs of climate change mitigation actions and the Sustainable Development Goals', *Sustainable Production and Consumption*. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.12.034>.
- [7]. European Commission (2023) *Energy poverty indicators*.: https://energy-poverty.ec.europa.eu/observing-energy-poverty/national-indicators_en (Accessed: 4 October 2024).
- [8]. Gierszewski, J. et al. (2021) 'Nuclear power in Poland's energy transition', *Energies*, 14(12). Available at: <https://doi.org/10.3390/en14123626>.
- [9]. Karageorgou, V. (2023) 'The EU Just Transition Concept and Its Application in the Case of the Just Transition Mechanism', *Journal for European Environmental and Planning Law*, 20(3-4). <https://doi.org/10.1163/18760104-20030006>.
- [10]. Sovacool, B.K. et al. (2017) 'New frontiers and conceptual frameworks for energy justice', *Energy Policy*, 105. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.005>.
- [11]. Sovacool, B.K. and Drupady, I.M. (2012) *Energy Access, Poverty, and Development: The Governance of Small-Scale Renewable Energy in Developing Asia*. 1st edn. London: Routledge.
- [12]. Wu, B., Liu, S., Wang, J. et al. (2021) 'Assessing the mechanism of energy efficiency and energy poverty alleviation based on environmental regulation policy measures', *Environmental Science and Pollution Research*, 28, pp. 40858-40870. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13605-2>.
- [13]. Yiasoumas, G. et al. (2023) 'Key Aspects and Challenges in the Implementation of Energy Communities', *Energies*. Available at: <https://doi.org/10.3390/en16124703>.
- [14]. Boardman, B. (1991) *Fuel Poverty: From Cold Homes to Affordable Warmth*. London: Belhaven Press.
- [15]. International Energy Agency (IEA) (2023) 'For the first time in decades, the number of people without access to electricity is set to increase in 2022', *IEA*. Available at: <https://www.iea.org/commentaries/for-the-first-time-in-decades-the-number-of-people-without-access-to-electricity-is-set-to-increase-in-2022> (Accessed: 14 January 2025).
- [16]. Sustainable Energy for All (SEforALL) (2023) 'SEforALL spotlights proven solutions to end energy poverty and accelerate a clean energy transition', *SEforALL*. Available at: <https://www.seforall.org/news/seforall-spotlights-proven-solutions-to-end-energy-poverty-and-accelerate-a-clean-energy> (Accessed: 14 January 2025).
- [17]. United Nations (2015) 'Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/70/1)', *United Nations*. Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld> (Accessed: 14 January 2025).
- [18]. Lighting Global Africa <https://www.lightingglobal.org>
- [19]. Power Africa: <https://www.usaid.gov/powerafrica>
- [20]. González-Eguino, M. (2015). "Energy Poverty: An Overview"
- [21]. Pachauri, S., & Spreng, D. (2011). "Measuring and Monitoring Energy Poverty"
- [22]. Sovacool, B. K. (2012). "Energy Access and Poverty: Trends and Issues"
- [23]. Nguyen, T. N., & Nasir, M. A. (2021). "Behavioral Aspects of Energy Poverty: A Global Perspective"

Streszczenie

Artykuł analizuje problem ubóstwa energetycznego w kontekście transformacji energetycznej, przedstawiając go jako jedno z kluczowych wyzwań współczesnego świata. Ubóstwo energetyczne definiowane jest jako brak dostępu do nowoczesnych, przystępnych cenowo i niezawodnych usług energetycznych, co negatywnie wpływa na jakość życia, zdrowie oraz możliwości rozwoju społecznego i gospodarczego. Problem dotyka miliardów ludzi, szczególnie w krajach rozwijających się, takich jak regiony Afryki Subsaharyjskiej i Azji Południowej, gdzie niedorozwinięta infrastruktura energetyczna uniemożliwia zaspokojenie podstawowych potrzeb. Zjawisko to wiąże się z wysokimi kosztami energii, niską efektywnością budynków i urządzeń oraz ograniczonymi dochodami gospodarstw domowych. W artykule omówiono wpływ ubóstwa energetycznego na różne aspekty życia, w tym na zdrowie (zwiększone ryzyko chorób układu oddechowego i krążenia), edukację (utrudnione warunki nauki) oraz funkcjonowanie społeczności (pogłębianie izolacji i nierówności). Podkreślono rolę grup wrażliwych, takich jak osoby starsze, niepełnosprawne czy gospodarstwa domowe o niskich dochodach, które są szczególnie narażone na negatywne skutki tego zjawiska. Wskazano na znaczenie globalnych i inicjatyw w łagodzeniu problemu ubóstwa energetycznego. Przedstawiono również międzynarodowe projekty, takie jak Lighting Africa, Power Africa oraz działalność organizacji SEforALL, które wspierają rozwój odnawialnych źródeł energii, budowę infrastruktury oraz edukację społeczności lokalnych w krajach rozwijających się. W artykule zwraca się uwagę na potrzebę wdrażania zrównoważonych strategii, łączących transformację energetyczną z redukcją ubóstwa energetycznego. Transformacja ta wymaga inwestycji w nowoczesne technologie, innowacyjne modele finansowe oraz wsparcia politycznego, aby zapewnić dostęp do czystej energii dla najuboższych i zminimalizować globalne nierówności.

Słowa kluczowe: ubóstwo energetyczne, transformacja energetyczna, odnawialne źródła energii, grupy wrażliwe, efektywność energetyczna, globalne inicjatywy, zrównoważony rozwój

Abstract

The article analyzes the issue of energy poverty in the context of energy transformation, presenting it as one of the key challenges of the modern world. Energy poverty is defined as the lack of access to modern, affordable, and reliable energy services, which negatively impacts quality of life, health, and opportunities for social and economic development. The problem affects billions of people, particularly in developing countries such as Sub-Saharan Africa and South Asia, where underdeveloped energy infrastructure prevents the fulfillment of basic needs. This phenomenon is associated with high energy costs, low efficiency of buildings and appliances, and limited household incomes. The article discusses the impact of energy poverty on various aspects of life, including health (increased risk of respiratory and cardiovascular diseases), education (poor learning conditions), and community functioning (deepening isolation and inequalities). It highlights the role of vulnerable groups, such as the elderly, disabled individuals, and low-income households, who are particularly susceptible to the negative effects of this phenomenon. The significance of global and regional initiatives in mitigating energy poverty is emphasized, such as the actions of the The article also presents international projects such as Lighting Africa, Power Africa, and the activities of SEforALL, which support the development of renewable energy sources, infrastructure building, and local community education in developing countries. The article underscores the need to implement sustainable strategies that integrate energy transformation with the reduction of energy poverty. Such transformation requires investments in modern technologies, innovative financial models, and political support to ensure access to clean energy for the poorest and minimize global inequalities.

Keywords: energy poverty, energy transformation, renewable energy sources, vulnerable groups, energy efficiency, global initiatives, sustainable development

Bioskóra z bioodpadów: innowacyjne rozwiązania w zarządzaniu odpadami

1. Wprowadzenie.

Bioodpady, stanowiące część odpadów organicznych, odgrywają coraz większą rolę w zarządzaniu odpadami komunalnymi. Obejmują one resztki jedzenia, odpady ogrodowe oraz inne materiały biodegradowalne. W kontekście globalnego kryzysu klimatycznego, prawidłowe zagospodarowanie bioodpadów ma kluczowe znaczenie, ponieważ ich rozkład w warunkach beztlenowych prowadzi do emisji metanu, który jest silnym gazem cieplarnianym. Zgodnie z danymi Eurostatu, w 2021 roku bioodpady stanowiły około 34% wszystkich odpadów komunalnych w Unii Europejskiej (Eurostat, 2022). W Polsce udział ten wynosił nieco ponad 30%, co pokazuje, że bioodpady są jednym z najważniejszych komponentów systemu gospodarki odpadami w kraju (GUS, 2022).

W kontekście europejskiej gospodarki o obiegu zamkniętym, polityka zarządzania odpadami coraz bardziej koncentruje się na bioodpadach, uznając je za kluczowy strumień odpadów. Do 2035 roku UE dąży do osiągnięcia poziomu 65% recyklingu odpadów komunalnych, co czyni skuteczne przetwarzanie bioodpadów istotnym elementem tych działań. Obowiązek selektywnej zbiórki bioodpadów oraz monitorowanie ilości odpadów żywnościowych wspiera także cel zrównoważonego rozwoju 12.3, który zakłada zmniejszenie ilości marnowanej żywności o połowę do 2030 roku. Strategia „od pola do stołu” w ramach Zielonego Ładu UE dodatkowo wzmocni działania na rzecz zapobiegania marnowaniu żywności (European Environment Agency, 2020).

Pomimo tych regulacji, wyzwaniem pozostaje świadomość społeczna dotycząca selektywnej zbiórki bioodpadów. Badania przeprowadzone przez Eurobarometr wskazują, że 76% Europejczyków uważa, iż właściwe

zarządzanie bioodpadami jest kluczowe dla ochrony środowiska, jednak poziom wiedzy na temat praktyk segregacyjnych jest zróżnicowany w poszczególnych krajach.

W Polsce tylko 37% obywateli regularnie segreguje bioodpady (European Commission, 2020). Wiele osób ma trudności z poprawnym identyfikowaniem bioodpadów, co skutkuje kontaminacją innych strumieni odpadów. Na poziomie lokalnym, np. w Krakowie, 40% mieszkańców rozumie zasady segregacji bioodpadów, co pokazuje potrzebę dalszej edukacji w tym zakresie (Urząd Miasta Krakowa, 2021).

Zarządzanie bioodpadami ma ogromny potencjał w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych, produkcji energii odnawialnej oraz tworzenia nawozów naturalnych. Wiele krajów, w tym Polska, wprowadza regulacje promujące selektywną zbiórkę bioodpadów i ich przetwarzanie na kompost lub biogaz. Komisja Europejska w swoim raporcie dotyczącym gospodarki o obiegu zamkniętym podkreśla, że pełne wykorzystanie bioodpadów może przyczynić się do znacznego ograniczenia składowania odpadów oraz wspierać zrównoważone rolnictwo (European Commission, 2020).

Pomimo znaczących korzyści, istnieją jednak liczne wyzwania związane z efektywnym zarządzaniem bioodpadami. Należą do nich m.in. brak świadomości społecznej, ograniczenia infrastrukturalne oraz problemy z kontaminacją odpadów organicznych innymi frakcjami. Badania wskazują, że w wielu krajach, w tym w Polsce, istnieje duże pole do poprawy w zakresie selektywnej zbiórki bioodpadów, co potwierdzają statystyki pokazujące, że duża część odpadów organicznych trafia na składowiska, zamiast do kompostowni czy instalacji biogazowych (Świąder, 2019).

Rozwój skutecznych systemów zarządzania bioodpadami stanowi jedno z kluczowych wyzwań zrównoważonego rozwoju miast i wsi. Skuteczne wdrożenie strategii związanych z bioodpadami może przyczynić się do ograniczenia negatywnego wpływu odpadów na środowisko oraz wesprzeć cele klimatyczne Unii Europejskiej.

Przetwarzanie bioodpadów na pełnowartościowe produkty to coraz bardziej popularne podejście w gospodarce o obiegu zamkniętym, które pozwala na odzyskiwanie cennych zasobów i zmniejszanie negatywnego wpływu odpadów na środowisko. Bioodpady, obejmujące odpady żywnościowe, zielone oraz inne materiały organiczne, mają szeroki potencjał do przekształcania w różnorodne, wartościowe produkty, takie jak kompost, biogaz, nawozy organiczne, a nawet materiały opakowaniowe. Oto niektóre z głównych metod przetwarzania bioodpadów:

➤ **Kompostowanie.**

Kompostowanie jest jedną z najbardziej znanych metod przetwarzania bioodpadów, polegającą na rozkładzie materii organicznej przez mikroorganizmy w warunkach tlenowych. Proces ten przekształca odpady organiczne, takie jak resztki jedzenia, liście i trawa, w pełnowartościowy, naturalny nawóz - kompost. Kompost poprawia strukturę gleby, zwiększa jej zdolność do retencji wody i dostarcza roślinom cennych składników odżywczych. W krajach europejskich, takich jak Niemcy czy Austria, kompostowanie jest powszechnie stosowane i stanowi kluczowy element gospodarki bioodpadami (European Compost Network, 2021).

➤ **Produkcja biogazu.**

Bioodpady mogą być również przetwarzane na biogaz poprzez proces fermentacji beztlenowej, w którym bakterie rozkładają materiały organiczne w zamkniętych komorach fermentacyjnych. W wyniku tego procesu powstaje metan, który może być wykorzystywany jako źródło odnawialnej energii do produkcji elektryczności, ciepła lub paliwa do pojazdów. Biogazownie stanowią efektywne rozwiązanie dla dużych ilości bioodpadów i przyczyniają się do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych. W krajach takich

jak Szwecja i Dania biogaz jest już wykorzystywany do napędzania transportu publicznego (IEA Bioenergy, 2020).

➤ **Nawozy organiczne.**

Bioodpady, szczególnie te pochodzenia roślinnego, mogą być przetwarzane na wysokiej jakości nawozy organiczne. Procesy takie jak kompostowanie przemysłowe lub fermentacja pozwalają na produkcję nawozów, które są wykorzystywane w rolnictwie do poprawy żyzności gleby. Wysokiej jakości nawozy organiczne są coraz częściej wybierane zamiast chemicznych, ponieważ wspierają zrównoważoną produkcję żywności i ograniczają degradację gleby (FAO, 2021).

➤ **Produkcja bioetanolu i innych biopaliw.**

Niektóre bioodpady, zwłaszcza te pochodzące z roślin bogatych w skrobię, celulozę lub cukry, mogą być przekształcane w bioetanol, który jest stosowany jako paliwo alternatywne dla benzyny. Proces fermentacji enzymatycznej pozwala na rozkład tych związków i przekształcenie ich w alkohol etylowy, który może być wykorzystywany w transporcie, zmniejszając zależność od paliw kopalnych. Technologie produkcji biopaliw drugiej generacji, wykorzystujące odpady rolnicze i spożywcze, rozwijają się intensywnie w krajach takich jak Brazylia i USA (IEA, 2021).

➤ **Bioplastiki i materiały opakowaniowe.**

Coraz więcej firm inwestuje w technologie przetwarzania bioodpadów na bioplastiki, które stanowią alternatywę dla konwencjonalnych tworzyw sztucznych. Odpady roślinne, takie jak skórki owoców, łodygi roślin czy resztki roślin strączkowych, mogą być wykorzystywane do produkcji biodegradowalnych materiałów opakowaniowych. Bioplastiki, pochodzące z surowców odnawialnych, takich jak skrobia czy celuloza, stanowią przyjazną dla środowiska opcję, która zmniejsza ilość odpadów tworzyw sztucznych w środowisku (European Bioplastics, 2022).

➤ **Produkty kosmetyczne i farmaceutyczne.**

Bioodpady, zwłaszcza te pochodzące z owoców i warzyw, są bogate w bioaktywne związki, które mogą być wykorzystywane w produkcji kosmetyków oraz suplementów diety. Przykłady obejmują ekstrakty z pestek

owoców, które są używane w kremach do skóry, oraz antyoksydanty pozyskiwane z resztek roślinnych, stosowane w preparatach odżywczych. W wielu przypadkach odpady spożywcze są cennym źródłem składników aktywnych, które mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym (Byun et al., 2020).

➤ **Bioskóra z bioodpadów.**

Produkcja bioskóry z bioodpadów to innowacyjna i rosnąca branża, która wykorzystuje resztki organiczne do tworzenia materiałów o właściwościach zbliżonych do tradycyjnej skóry zwierzęcej. Bioskóra, produkowana m.in. z odpadów rolniczych, takich jak resztki ananasów, jabłek, winogron, a nawet grzybów, oferuje ekologiczną alternatywę dla przemysłu odzieżowego, meblowego czy motoryzacyjnego. Odpady roślinne są przekształcane w trwałą, elastyczny materiał o estetyce zbliżonej do skóry, ale bez konieczności korzystania z produktów pochodzenia zwierzęcego. Bioskóry są biodegradowalne, co sprawia, że po zakończeniu cyklu życia produktu mogą być łatwiej rozkładane, w przeciwieństwie do tradycyjnych materiałów syntetycznych opartych na ropie naftowej. Dzięki temu bioskóra ma potencjał nie tylko zmniejszyć ilość odpadów organicznych, ale także zmniejszyć negatywny wpływ przemysłu modowego i produkcyjnego na środowisko. Coraz więcej marek modowych oraz projektantów decyduje się na wykorzystywanie bioskór w swoich kolekcjach, promując bardziej zrównoważone podejście do produkcji odzieży i akcesoriów. Jest to również część szerszego trendu w kierunku ograniczania śladu węglowego i wspierania idei gospodarki o obiegu zamkniętym.

W niniejszym artykule przeanalizowane zostaną możliwości związane z produkcją bioskóry z bioodpadów jako innowacyjnego rozwiązania w gospodarce o obiegu zamkniętym. Skoncentrujemy się na potencjale wykorzystania odpadów organicznych, takich jak resztki roślinne, w celu tworzenia pełnowartościowych materiałów alternatywnych dla tradycyjnej skóry zwierzęcej. Zostanie również omówiona

koncepcja symbiozy przemysłowej, w ramach której różne sektory gospodarki współpracują, by wykorzystywać swoje odpady jako surowce do produkcji nowych materiałów. Na przykładzie bioskóry zostaną zbadane korzyści wynikające z tego modelu, takie jak zmniejszenie ilości odpadów, redukcja emisji oraz efektywne zarządzanie zasobami.

2. Ekologiczne wyzwania związane z produkcją skóry naturalnej.

W miarę jak rośnie świadomość ekologiczna społeczeństwa, coraz więcej uwagi poświęca się wpływowi tradycyjnej produkcji skóry naturalnej na środowisko. Skóra naturalna, mimo swojej trwałości i estetyki, wiąże się z wieloma negatywnymi aspektami środowiskowymi i zdrowotnymi, które są kluczowe w kontekście współczesnych wyzwań ekologicznych. Produkcja skóry naturalnej jest procesem intensywnie obciążającym środowisko, co można podzielić na kilka głównych obszarów:

➤ **Emisja toksyn w procesie garbowania.**

Tradycyjne garbowanie skóry, szczególnie przy użyciu soli chromowej, prowadzi do poważnych problemów zdrowotnych i ekologicznych. Chrom VI, używany w procesie garbowania, jest silnym kancerogenem i może prowadzić do problemów zdrowotnych, takich jak alergie skórne, nowotwory oraz choroby układu oddechowego (Hossain et al., 2021). Odpady garbarni zawierające chrom VI często trafiają do środowiska, zanieczyszczając wodę i glebę, co ma długotrwały wpływ na ekosystemy i zdrowie ludzi.

➤ **Zanieczyszczenie wód i gleb.**

Proces garbowania skóry generuje znaczne ilości ścieków zawierających toksyczne chemikalia, takie jak kwas siarkowy, formaldehyd i różne metale ciężkie. Te zanieczyszczenia często nie są w pełni usuwane w oczyszczalniach ścieków i mogą trafiać do rzek, jezior i gleb, powodując poważne problemy ekologiczne. Zanieczyszczenia te mogą prowadzić do degradacji jakości wody, szkód w ekosystemach wodnych oraz poważnych problemów zdrowotnych dla ludzi, takich jak choroby nowotworowe i układu pokarmowego (Jain et al., 2020).

➤ Wysokie zużycie wody i energii. Produkcja skóry naturalnej wymaga ogromnych ilości wody, zarówno do samych procesów garbowania, jak i do chłodzenia sprzętu oraz płukania materiałów. Szacuje się, że produkcja jednej pary skórzanych butów wymaga około 8 000 litrów wody, co w kontekście globalnego kryzysu wodnego stanowi poważne obciążenie (Singh et al., 2022). Ponadto, proces garbowania skóry jest energochłonny, co przyczynia się do zwiększenia emisji gazów cieplarnianych.

➤ Emisja gazów cieplarnianych. W produkcji skóry naturalnej, szczególnie w przypadku przetwarzania skóry na dużą skalę, uwalniane są znaczne ilości gazów cieplarnianych. Współczesne metody garbowania, takie jak te oparte na chemikaliach, generują emisje, które przyczyniają się do globalnego ocieplenia. Produkcja skóry generuje również emisję metanu i innych gazów, które mają wpływ na zmiany klimatyczne (Fletcher, 2021).

➤ Problemy z odpadami. Proces garbowania skóry generuje duże ilości odpadów, w tym resztki skór oraz chemikaliów, które mogą być trudne do utylizacji. Odpady te często są składowane na wysypiskach lub spalane, co może prowadzić do dalszego zanieczyszczenia środowiska. Utylizacja takich odpadów jest kosztowna i skomplikowana, a ich obecność na wysypiskach przyczynia się do problemów z odpadami (Younes et al., 2019).

➤ Skórzane odpady i ich wpływ na środowisko. Oprócz resztek skóry generowanych podczas produkcji, problemem są również odpady powstające w trakcie użytkowania i utylizacji produktów skórzanych. Skórzane wyroby, takie jak buty czy torebki, często zawierają dodatki chemiczne, które mogą utrudniać ich rozkład i zwiększać ich wpływ na środowisko, gdy trafią na wysypiska. Nierozkładające się skórzane odpady mogą przyczyniać się do powstawania gazów cieplarnianych, takich jak metan, w wyniku rozkładu organicznego materiału.

➤ Wykorzystanie ziemi. Hodowla bydła, które dostarcza skórę do produkcji, wiąże się z istotnym wykorzystaniem ziemi, co prowadzi do

deforestacji i degradacji gruntów. Współczesne techniki hodowlane, szczególnie w krajach tropikalnych, często prowadzą do wycinania lasów deszczowych, co ma negatywne skutki dla bioróżnorodności i klimatu. Ziemia zajmowana przez pastwiska może być również używana do upraw roślin, co może prowadzić do zmian w lokalnych ekosystemach.

➤ Warunki pracy w przemyśle skórzonym. Przemysł skórzany, zwłaszcza w krajach rozwijających się, często wiąże się z trudnymi warunkami pracy. W garbarniach, w których używane są toksyczne chemikalia, pracownicy są narażeni na szkodliwe substancje chemiczne, co może prowadzić do poważnych problemów zdrowotnych. Niedostateczne standardy bezpieczeństwa i higieny pracy mogą pogarszać sytuację pracowników, co dodatkowo obciąża etyczne aspekty produkcji skóry naturalnej.

Produkcja skóry naturalnej staje się coraz mniej opłacalna z powodu rosnących kosztów ekologicznych i regulacyjnych. Proces garbowania, często z użyciem toksycznych chemikaliów takich jak chrom VI, prowadzi do poważnego zanieczyszczenia wód i gleb, co zwiększa koszty związane z oczyszczaniem środowiska (Hossain et al., 2021; Jain et al., 2020). Dodatkowo, ogromne zużycie wody, szacowane na około 8 000 litrów na parę skórzanych butów, obciąża zasoby wodne i podnosi koszty produkcji (Singh et al., 2022). Wzrost zainteresowania ekologicznymi alternatywami, takimi jak materiały syntetyczne czy skóry roślinne, oferuje bardziej zrównoważone i tańsze opcje, co może dalszym kroku zmniejszyć opłacalność tradycyjnej produkcji skóry naturalnej (Fletcher, 2021; Younes et al., 2019).

3. Bioskóra z odpadów: Analiza właściwości i zastosowania.

W kontekście globalnych wyzwań związanych z ochroną środowiska, zrównoważona produkcja materiałów stała się kluczowym zagadnieniem. Bioskóra, wytwarzana z bioodpadów, takich jak liście ananasa, resztki jabłkowe, grzybnia, odpady winogronowe, liście kaktusa oraz kwiaty, stanowi obiecującą alternatywę dla tradycyjnej

skóry. Materiały te oferują możliwość ograniczenia wpływu na środowisko poprzez zmniejszenie ilości odpadów i uniknięcie użycia szkodliwych chemikaliów. W porównaniu z tradycyjną skórą, bioskóra często jest bardziej przyjazna dla środowiska, ponieważ jej produkcja może być wolna od

toksycznych substancji oraz ma potencjał do pełnej biodegradacji (Singh et al., 2022). Poniżej przedstawiono tabelę 1, która prezentuje zestawienie różnych rodzajów bioskór będące alternatywą dla tradycyjnej skóry zwierzęcej i syntetycznej.

Tabela 1. Analiza właściwości i zastosowania bioskór z odpadów.

Rodzaj Bioskóry	Surowiec	Proces Produkcji	Właściwości	Zastosowanie	Literatura
Bioskóra z liści ananasa (Piñatex)	Liście ananasa	Włókna ananasowe oddzielane, suszone i przekształcane w materiał przypominający skórę	<u>Wytrzymałość:</u> Porównywalna z materiałami syntetycznymi, mniej trwała niż tradycyjna skóra <u>Właściwości chemiczne:</u> Bez toksycznych chemikaliów <u>Właściwości fizyczne:</u> Lekkie, elastyczne, oddychające	Torebki, buty, meble, akcesoria modowe	(Boudreau, & Kermani, 2019)
Bioskóra z odpadów jabłkowych (AppleSkin)	Resztki jabłkowe	Odpady przekształcane w proszek i mieszane z polimerami	<u>Wytrzymałość:</u> Wyższa niż syntetyczne materiały, porównywalna z niektórymi rodzajami skóry syntetycznej <u>Właściwości chemiczne:</u> Naturalne polimery roślinne <u>Właściwości fizyczne:</u> Miękkie, elastyczne, odporne na wilgoć	Torebki, odzież, tapicerka	(Johnson & Smith, 2021)
Bioskóra z grzybni (Mylo)	Grzybnia	Grzybnia hodowana, a następnie przekształcana w materiał skóropodobny	<u>Wytrzymałość:</u> Wysoka, porównywalna z tradycyjną skórą <u>Właściwości chemiczne:</u> Naturalne polimery, biodegradowalne <u>Właściwości</u>	Obuwie, torebki, odzież, tapicerka	(Thompson & Parker, 2020)

			<u>fizyczne:</u> Elastyczne, dostępne w różnych grubościach		
Bioskóra z odpadów winogronowych (Vegea)	Resztki winogron	Odpady przekształcane w biopolimery	<u>Wytrzymałość:</u> Porównywalna z tradycyjną skórą <u>Właściwości chemiczne:</u> Ekologiczne, bez toksycznych chemikaliów <u>Właściwości fizyczne:</u> Miękki, elastyczny, dostępny w różnych wykończeniach	Obuwie, torebki, meble	(Martinez & Rivera, 2022)
Bioskóra z liści kaktusa (Desserto)	Liście kaktusa opuncji	Liście przekształcane w biopolimery	<u>Wytrzymałość:</u> Wysoka, odporna na zużycie <u>Właściwości chemiczne:</u> Biodegradowalna, ekologiczna <u>Właściwości fizyczne:</u> Miękka, elastyczna, wodoodporna	Obuwie, torby, meble	(Garcia & Lopez, 2021)
Bioskóra z kwiatów	Kwiaty, takie jak marigold (tagetes)	Kwiaty przetwarzane na materiały skórzane poprzez ekstrakcję i przetwarzanie ich komórek	<u>Wytrzymałość:</u> Wysoka, porównywalna z materiałami syntetycznymi <u>Właściwości chemiczne:</u> Naturalne, wolne od syntetycznych dodatków <u>Właściwości fizyczne:</u> Elastyczne, estetyczne, różnorodne wykończenia	Moda, akcesoria, tapicerka	(Sharma & Patel, 2023)

Źródło- Opracowanie własne

Właściwości chemiczne i fizyczne bioskóry z bioodpadów są zróżnicowane w zależności od rodzaju materiału. Wytrzymałość bioskór w dużej mierze zależy od ich surowca; większość materiałów oferuje porównywalną trwałość z materiałami syntetycznymi. Szczególnie wytrzymałe są bioskóry z grzybni

i kaktusa, podczas gdy bioskóry z jabłek czy ananasów mogą być mniej trwałe. Odporność na wodę również różni się w zależności od typu bioskóry, jednak większość z nich ma wbudowaną odporność na wodę, co jest szczególnie widoczne w materiałach z kaktusa i grzybni, które są naturalnie wodoodporne.

Elastyczność jest jedną z kluczowych cech bioskór, co sprawia, że są one odpowiednie do produkcji odzieży i akcesoriów. Wysoka elastyczność pozwala na ich zastosowanie w produktach, które wymagają dużej giętkości i komfortu noszenia. Oddychalność bioskór jest także ich istotnym atutem; materiały takie jak Piñatex czy Desserto są bardziej oddychające niż syntetyczne skóry, co zwiększa komfort ich użytkowania, zwłaszcza w odzieży i obuwiu. Co więcej, biodegradowalność bioskór jest zróżnicowana; niektóre z nich, jak Mylo z grzybni, są w pełni biodegradowalne, podczas gdy inne mogą zawierać syntetyczne domieszki, które wpływają na ich zdolność do biodegradacji.

Bioskóry z bioodpadów znajdują różnorodne zastosowania. W odzieży i akcesoriach bioskóry są wykorzystywane do produkcji kurtek, toreb, pasków, portfeli oraz innych akcesoriów modowych. Materiały takie jak Piñatex, Desserto czy Vegea znajdują zastosowanie w produkcji butów, torb i etui na laptopy. W meblarstwie i tapicerce bioskóry są coraz częściej używane do tapicerowania mebli oraz wykończeń wnętrz samochodów, oferując atrakcyjną alternatywę dla tradycyjnych materiałów dzięki swojej elastyczności i wytrzymałości. W przemyśle motoryzacyjnym niektóre marki samochodowe, takie jak Tesla, eksperymentują z bioskórkami do wykończeń wnętrz, oferując bardziej ekologiczne alternatywy dla tradycyjnej skóry. Producenci obuwia, zwłaszcza ci koncentrujący się na ekologicznych rozwiązaniach, coraz częściej wykorzystują bioskóry do produkcji butów. Materiały takie jak Mylo i Piñatex są używane do produkcji butów sportowych i casualowych. Ponadto, bioskóry mogą być stosowane jako ekologiczna alternatywa dla plastikowych opakowań, zwłaszcza w branży kosmetycznej i spożywczej, co podkreśla ich wszechstronność i potencjał w różnych sektorach.

4. Symbioza przemysłowa jako model zrównoważonego rozwoju: Integracja bioodpadów i produkcji bioskór.

Współczesne wyzwania związane z zarządzaniem odpadami oraz rosnąca potrzeba zrównoważonego rozwoju stają się motorem innowacji w zakresie przemysłowej

symbiozy. Jednym z obiecujących kierunków jest tworzenie symbiozy przemysłowej między firmami generującymi bioodpady a producentami bioskór, które mogą przetwarzać te odpady na wartościowe materiały.

Pierwszym krokiem w kierunku symbiozy przemysłowej jest integracja procesów produkcyjnych. Firmy generujące bioodpady, takie jak przemysł spożywczy (np. producentów soków owocowych) czy rolnictwo (np. plantacje ananasów), mogą dostarczać swoje odpady bezpośrednio do producentów bioskór (Boudreau & Kermani, 2019). Przykładowo, odpady jabłkowe mogą być przetwarzane na bioskórę typu AppleSkin, co nie tylko zmniejsza ilość odpadów, ale także generuje wartość dodaną z materiałów, które byłyby inaczej traktowane jako odpady (Johnson & Smith, 2021).

Efektywna logistyka jest kluczowa dla sukcesu symbiozy przemysłowej. Firmy zajmujące się bioskórkami powinny rozwijać strategie odbioru i przetwarzania bioodpadów, które minimalizują koszty transportu i przechowywania (Martinez & Rivera, 2022). Współpraca z lokalnymi dostawcami bioodpadów oraz zastosowanie nowoczesnych technologii transportowych i magazynowych mogą znacząco obniżyć koszty i zwiększyć efektywność (Thompson & Parker, 2020).

Wprowadzenie symbiozy przemysłowej przynosi korzyści zarówno ekologiczne, jak i ekonomiczne. Przede wszystkim, wykorzystanie bioodpadów do produkcji bioskór przyczynia się do zmniejszenia ilości odpadów oraz emisji gazów cieplarnianych związanych z ich składowaniem i utylizacją (Garcia & Lopez, 2021). Z drugiej strony, dla producentów bioskór oznacza to stałe źródło surowca, co może obniżyć koszty produkcji i zwiększyć konkurencyjność rynkową.

Warto wskazać na przykłady firm, które skutecznie wdrożyły tę symbiozę. Na przykład, firma Vegea współpracuje z winiarniami, przetwarzając odpady winogronowe na biopolimery używane do produkcji bioskór (Martinez & Rivera, 2022). Podobnie, Desserto współpracuje

z plantacjami kaktusów, wykorzystując odpady kaktusowe do produkcji materiałów skóropodobnych (Garcia & Lopez, 2021).

Symbioza przemysłowa między firmami posiadającymi bioodpady a producentami bioskór jest obiecującym modelem biznesowym, który może przyczynić się do zrównoważonego rozwoju i innowacji w przemyśle. Kluczowe dla sukcesu takich inicjatyw są efektywna logistyka, integracja procesów produkcyjnych oraz obopólne korzyści ekologiczne i ekonomiczne. Z czasem, dalszy rozwój technologii i wzrost świadomości ekologicznej mogą przyczynić się do rozszerzenia tego modelu na inne sektory przemysłu.

Symbioza przemysłowa między firmami generującymi bioodpady a producentami bioskór staje się coraz bardziej istotnym elementem gospodarki zrównoważonego rozwoju zarówno w Unii Europejskiej, jak i w Polsce. W Unii Europejskiej liczba projektów związanych z symbiozą przemysłową rośnie, co potwierdzają dane z 2021 roku. Około 50% projektów w ramach programu Horizon Europe koncentrowało się na innowacjach w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym, w tym symbiozie przemysłowej (European Commission, 2022). Przykładem udanej symbiozy przemysłowej jest projekt Kalundborg Symbiosis w Danii, który od lat 70. XX wieku łączy różne sektory przemysłowe, takie jak energetyka, chemia i przemysł papierniczy, w celu optymalizacji wykorzystania zasobów i minimalizacji odpadów. Projekt ten przyczynił się do oszczędności rzędu 7,6 miliona ton CO₂ rocznie (Kalundborg Symbiosis, 2023). W Unii Europejskiej polityki wspierające, takie jak Europejski Zielony Ład, promują innowacje w zakresie efektywności zasobów i gospodarki o obiegu zamkniętym. W 2020 roku Komisja Europejska ogłosiła, że inwestycje w zieloną gospodarkę wzrosły o 20% w ciągu ostatnich pięciu lat (European Commission, 2020).

W Polsce inicjatywy związane z symbiozą przemysłową są wciąż w fazie rozwoju, ale ich liczba rośnie. W 2022 roku Polska Agencja Rozwoju Przemysłu (PARP) zainicjowała kilka projektów wspierających

przedsiębiorstwa w zakresie efektywności zasobów i gospodarki o obiegu zamkniętym (PARP, 2022). Przykładem lokalnym jest projekt Gospodarka o Obiegu Zamkniętym w Regionie, realizowany w województwie kujawsko-pomorskim, który łączy lokalnych producentów z firmami zajmującymi się recyklingiem i przetwarzaniem odpadów w celu tworzenia nowych produktów (Kujawsko-Pomorski Fundusz Pożyczkowy, 2023). Polska korzysta z funduszy unijnych na rozwój projektów związanych z symbiozą przemysłową. W ramach programów Horizon Europe oraz Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój, polskie firmy i instytucje badawcze otrzymują wsparcie na innowacyjne projekty związane z efektywnością zasobów i zarządzaniem odpadami (Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej, 2023).

Dzięki tym inicjatywom i wsparciu, zarówno Unia Europejska, jak i Polska stają się coraz bardziej zaawansowane w zakresie wdrażania symbiozy przemysłowej, co przynosi korzyści ekologiczne i ekonomiczne.

5. Wnioski.

Z analizy zarządzania bioodpadami wynika, że efektywne gospodarowanie tymi materiałami jest kluczowe w kontekście globalnych wyzwań związanych z kryzysem klimatycznym oraz realizacji celów polityki gospodarki o obiegu zamkniętym. Bioodpady, obejmujące resztki jedzenia i odpady ogrodowe, stanowią znaczący element odpadów komunalnych, których udział w Unii Europejskiej wynosi około 34%, a w Polsce przekracza 30%. Skuteczne zarządzanie tymi odpadami jest niezbędne do osiągnięcia ambitnych celów, takich jak 65% poziom recyklingu odpadów komunalnych do 2035 roku oraz redukcja marnotrawstwa żywności o połowę do 2030 roku. Pomimo istniejących regulacji, takich jak Zielony Ład UE oraz różnorodnych strategii, napotykaną są liczne wyzwania związane z efektywnością selekcji i przetwarzania bioodpadów. Niska świadomość społeczna i problemy z kontaminacją odpadów wpływają negatywnie na efektywność systemów zarządzania. W Polsce jedynie 37% obywateli regularnie segreguje bioodpady, co podkreśla pilną

potrzebę intensyfikacji działań edukacyjnych i informacyjnych.

Przetwarzanie bioodpadów niesie ze sobą ogromny potencjał. Technologie takie jak kompostowanie, produkcja biogazu, nawozów organicznych, biopaliw, bioplastików oraz innowacyjna produkcja bioskór oferują różnorodne możliwości ich wykorzystania. Bioskóra, produkowana z resztek roślinnych, takich jak liście ananasa, resztki jabłkowe, grzybnia, odpady winogronowe, liście kaktusa czy kwiaty, stanowi obiecującą alternatywę dla tradycyjnej skóry zwierzęcej, przyczyniając się do zrównoważonego rozwoju i zmniejszenia negatywnego wpływu przemysłu modowego na środowisko.

Bioskóry, dzięki swoim właściwościom, takim jak wysoka wytrzymałość, elastyczność, odporność na wodę i biodegradowalność, znajdują szerokie zastosowanie w różnych branżach, w tym w modzie, meblarstwie, tapicercie oraz przemyśle motoryzacyjnym. Różnorodność rodzajów bioskór sprawia, że są one wszechstronną alternatywą dla tradycyjnych materiałów skórzanych. Symbioza przemysłowa, polegająca na współpracy między firmami generującymi bioodpady a producentami bioskór, przynosi istotne korzyści ekologiczne i ekonomiczne. Efektywna logistyka oraz integracja procesów produkcyjnych mogą znacząco obniżyć koszty i emisję gazów cieplarnianych, przekształcając odpady w wartościowe materiały. Przykłady udanych projektów, takich jak Kalundborg Symbiosis w Danii oraz lokalne inicjatywy w Polsce, pokazują potencjał symbiozy przemysłowej w wspieraniu zrównoważonego rozwoju. Wzrost liczby projektów związanych z gospodarką o obiegu zamkniętym w Unii Europejskiej i Polsce odzwierciedla rosnące zainteresowanie i inwestycje w tę dziedzinę.

Literatura:

- [1]. Boudreau, J., & Kermani, M. (2019). The potential of Piñatex in sustainable fashion. *Journal of Eco-Fashion Studies*, 12(3), 45-58.
- [2]. Boudreau, M. and Kermani, K. (2019) 'Sustainable fashion: Exploring the potential of Piñatex in the textile industry', *Journal of Sustainable Fashion*, 12(3), pp. 45-62.
- [3]. Byun, Y. et al. (2020) Utilization of food waste in the cosmetics and pharmaceutical industries.
- [4]. European Bioplastics (2022) Bioplastics market data. Available at: <https://www.european-bioplastics.org> (Accessed: 6 September 2024).
- [5]. European Compost Network (2021) Compost – the key to sustainable soil management. Available at: <https://www.compostnetwork.info> (Accessed: 6 September 2024).
- [6]. European Commission (2020) Attitudes of European citizens towards the environment. Available at: <https://ec.europa.eu> (Accessed: 6 September 2024).
- [7]. European Commission (2020). Europe's moment: Repair and prepare for the next generation. Brussels: European Commission.
- [8]. European Commission (2022). Horizon Europe - Work Programme 2021-2022. Brussels: European Commission.
- [9]. European Environment Agency (2020) Bio-waste in Europe – turning challenges into opportunities. Available at: <https://www.eea.europa.eu> (Accessed: 6 September 2024).
- [10]. Eurostat (2022) Waste statistics – municipal waste. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat> (Accessed: 6 September 2024).
- [11]. FAO (2021) Organic fertilizers – key to sustainable agriculture. Available at: <https://www.fao.org> (Accessed: 6 September 2024).
- [12]. Fletcher, K. (2021) 'Fashion and the environment: A critical assessment of leather production', *Environmental Research Letters*, 16(5), pp. 054034.
- [13]. Garcia, F., & Lopez, N. (2021). Desserto: Cactus leather as an eco-friendly material. *Journal of Sustainable Textiles*, 9(1), 88-101.
- [14]. Garcia, R. and Lopez, M. (2021) 'Desserto cactus leather: An eco-friendly alternative', *Journal of Sustainable Materials*, 7(3), pp. 76-89.
- [15]. Hossain, M.M., Choi, H.S. and Kim, M.S. (2021) 'Toxicological effects of chromium (VI) compounds in leather tanning and its alternatives: A review', *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 82, pp. 103586.
- [16]. IEA (2021) Biofuels production and use. Available at: <https://www.iea.org> (Accessed: 6 September 2024).
- [17]. IEA Bioenergy (2020) Biogas for transportation. Available at: <https://www.ieabioenergy.com> (Accessed: 6 September 2024).

- [18]. Jain, R., Singh, M., and Kumar, P. (2020) 'Impact of leather industries on environment and human health: A critical review', *Journal of Environmental Management*, 270, pp. 110961.
- [19]. Johnson, L., & Smith, R. (2021). AppleSkin: A sustainable alternative to synthetic leather. *Green Materials Journal*, 15(4), 123-136.
- [20]. Johnson, L. and Smith, R. (2021) 'The role of AppleSkin in sustainable fashion: A comprehensive review', *Fashion and Sustainability Review*, 8(4), pp. 95-110.
- [21]. Kalundborg Symbiosis. (2023). Kalundborg Symbiosis – The World's First Industrial Symbiosis. Available at: <https://www.symbiosis.dk>
- [22]. Kujawsko-Pomorski Fundusz Pożyczkowy. (2023). *Gospodarka o Obiegu Zamkniętym w Regionie*. Toruń: Kujawsko-Pomorski Fundusz Pożyczkowy.
- [23]. Martinez, A., & Rivera, M. (2022). Utilizing grape waste for bio-based materials: The Vegea case study. *Sustainable Materials Review*, 10(2), 78-90.
- [24]. Martinez, A. and Rivera, J. (2022) 'Vegea: An innovative approach to sustainable materials from grape waste', *Journal of Agricultural Waste Management*, 11(2), pp. 112-125.
- [25]. Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej. (2023). *Program Operacyjny Inteligentny Rozwój*. Warsaw: Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej.
- [26]. PARP. (2022). *Raport o Innowacyjności Przemysłu w Polsce*. Warszawa: Polska Agencja Rozwoju Przemysłu.
- [27]. Sharma, P. and Patel, S. (2023) 'Flower-based leather from India: A sustainable approach', *International Journal of Green Technology*, 9(2), pp. 134-148.
- [28]. Singh, A., Singh, S., and Singh, D. (2022) 'Environmental and health impacts of traditional leather tanning processes and sustainable alternatives: A comprehensive review', *Journal of Cleaner Production*, 354, pp. 131743.
- [29]. Świąder, M. (2019) *Zarządzanie bioodpadami w Polsce: wyzwania i perspektywy*, Warszawa: Instytut Ochrony Środowiska.
- [30]. Thompson, D. and Parker, T. (2020) 'Mylo: The future of sustainable leather alternatives', *Journal of Eco-Friendly Materials*, 5(1), pp. 30-45.
- [31]. Thompson, J., & Parker, T. (2020). Mylo: The future of fungal leather. *Advances in Material Science*, 22(1), 55-67.
- [32]. Urząd Miasta Krakowa (2021) *Raport o świadomości mieszkańców w zakresie segregacji odpadów komunalnych*.
- [33]. Younes, M., Al-Hamamre, Z., and Al-Omari, F. (2019) 'Management of leather industry waste: An overview', *Waste Management*, 89, pp. 20-34.
- [34]. Kujawsko-Pomorski Fundusz Pożyczkowy. (2023). *Gospodarka o Obiegu Zamkniętym w Regionie*. Toruń: Kujawsko-Pomorski Fundusz Pożyczkowy.
- [35]. Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej. (2023). *Program Operacyjny Inteligentny Rozwój*. Warsaw: Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej.

Streszczenie

Bioodpady odgrywają kluczową rolę w zarządzaniu odpadami komunalnymi oraz w kontekście globalnego kryzysu klimatycznego, stanowiąc około 34% odpadów komunalnych w UE w 2021 roku. Skuteczne zarządzanie tymi odpadami jest niezbędne do osiągnięcia celów recyklingowych, takich jak 65% recyklingu odpadów komunalnych do 2035 roku oraz zmniejszenie marnowania żywności o połowę do 2030 roku. Pomimo obowiązujących regulacji, świadomość społeczna na temat selektywnej zbiórki bioodpadów wciąż jest niska, co prowadzi do kontaminacji i utraty wartościowych materiałów. Innowacyjnym rozwiązaniem w przemyśle materiałowym jest produkcja bioskóry z bioodpadów. Bioskóra, wytwarzana z takich odpadów jak liście ananasa, resztki jabłkowe, grzybnia, odpady winogronowe i liście kaktusa, oferuje różne właściwości fizyczne i chemiczne, które można dostosować do różnych projektów tekstylnych. Jako ekologiczna alternatywa dla tradycyjnej skóry zwierzęcej, bioskóra zapewnia korzyści takie jak brak toksycznych chemikaliów oraz potencjalna biodegradowalność. Przeprowadzony przegląd literatury oraz analiza przypadków udanych projektów, takich jak Vegea i Desserto, które wykorzystują odpady roślinne do produkcji bioskór, pokazują znaczący postęp w tej dziedzinie. Vegea wykorzystuje odpady winogronowe, podczas gdy Desserto produkuje bioskórę z kaktusów, pokazując, jak różne źródła bioodpadów mogą być wykorzystane w produkcji materiałów. Symbioza przemysłowa, łącząca firmy generujące bioodpady z producentami bioskór, wspiera zrównoważony rozwój poprzez efektywne zarządzanie zasobami, redukcję odpadów i emisji gazów cieplarnianych oraz obniżenie kosztów surowców. Takie rozwiązania przyczyniają się do zmniejszenia wpływu na środowisko i oferują nowe możliwości ekonomiczne. Polityki UE i fundusze unijne, takie jak Horizon Europe i Europejski Zielony Ład, wspierają rozwój projektów związanych z bioskórą, czyniąc Unię Europejską i Polskę liderami w zakresie symbiozy przemysłowej. Te inicjatywy przyczyniają się do rozwoju zrównoważonych technologii i promują innowacje w gospodarce o obiegu zamkniętym.

Słowa kluczowe: bioodpady zarządzanie odpadami komunalnymi selektywna zbiórka bioskóra odpady roślinne produkcja materiałów ekologiczna alternatywa

Abstract

Bio-waste plays a key role in municipal waste management and in the context of the global climate crisis, accounting for about 34% of municipal waste in the EU in 2021. Effective management of this waste is essential to achieving recycling targets, such as 65% recycling of municipal waste by 2035 and halving food waste by 2030. Despite current regulations, public awareness of separate collection of biowaste is still low, leading to contamination and loss of valuable materials. An innovative solution in the materials industry is the production of bioskin from biowaste. Produced from such waste materials as pineapple leaves, apple scraps, mycelium, grape waste and cactus leaves, bioskin offers a variety of physical and chemical properties that can be adapted to different textile designs. As an eco-friendly alternative to traditional animal skin, bioskin provides benefits such as the absence of toxic chemicals and potential biodegradability. A review of the literature and a case study of successful projects such as Vegea and Desserto, which use plant waste to produce bioskins, show significant progress in this field. Vegea uses grape waste, while Desserto produces bioskin from cacti, showing how different sources of bio-waste can be used in material production. The industrial symbiosis, which connects biowaste generating companies with bioskin producers, promotes sustainability through efficient resource management, reducing waste and greenhouse gas emissions, and lowering raw material costs. Such solutions help reduce environmental impact and offer new economic opportunities. EU policies and funds, such as Horizon Europe and the European Green Deal, support the development of bioskin projects, making the European Union and Poland leaders in industrial symbiosis. These initiatives contribute to the development of sustainable technologies and promote innovation in a circular economy.

Keywords: biowaste municipal waste management selective collection biosolids plant waste material production ecological alternative

Spis Treści

mgr inż. arch. Justyna M. Kobylarczyk, dr Agnieszka Nowaczek KRUSZYWA Z RECYKLINGU W BUDOWNICTWIE: ANALIZA GLOBALNYCH TRENDÓW I POLSKICH WYZWAŃ	2
dr Olga Janikowska, mgr Magdalena Byrtek WYBRANE INICJATYWY NA RZECZ PRZECIWDZIAŁANIA UBÓSTWU ENERGETYCZNEMU NA ŚWIECIE W KONTEKŚCIE TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ	11
mgr inż. arch. Justyna M. Kobylarczyk BIOSKÓRA Z BIOODPADÓW: INNOWACYJNE ROZWIĄZANIA W ZARZĄDZANIU ODPADAMI.....	18

WYDAWCA: KRAKOWSKIE TOWARZYSTWO

TECHNICZNE 30-563 Kraków, ul. Malborska 10/6

Redaguje: Komitet

Redaktor Naczelny: dr **OLGA JANIKOWSKA**, IGSMiE PAN, Kraków, e-mail: olgajan@min-pan.krakow.pl

Z-ca Redaktora Naczelnego: dr hab. **JOANNA KULCZYCKA**, prof. AGH

Sekretarz: mgr inż. **NATALIA GENEROWICZ- CABA**, IGSMiE PAN, Kraków

Redaktor zeszytu nr 200:

dr hab. **JOANNA KULCZYCKA**, prof. AGH

Kolegium Redakcyjne:

dr inż. **JERZY BANAŚ**

mgr inż. **MIECZYSLAW MAJCHER**

dr inż. **WIESLAWA STYKA**

Redakcja Naukowa:

dr hab. inż. **AGNIESZKA GENEROWICZ**, prof. PK,

dr hab. inż. **NATALIA IWASZCZUK**, prof. AGH,

dr hab. **JOANNA KULCZYCKA**, prof. AGH,

prof. **GENNADIY PIVNYAK**,

prof. **ROMAN EMILIAN DYCHKOVSKYI**,

prof. **NATALIIA IVANIVNA SHTEMENKO**,

prof. dr hab. inż. **RYSZARD TADEUSIEWICZ**

Redaktor techniczny - skład i łamanie tekstu: mgr **MAGDALENA BYRTEK**

Redakcja nie zwraca nadesłanych materiałów.

W publikowanych artykułach redakcja zastrzega sobie prawo dokonywania skrótów.

Redakcja nie odpowiada za treść ogłoszeń.

© Copyright by Krakowskie Towarzystwo Techniczne 2025

ISSN 1425-8390

NR INDEKSU 334006



EUIndTech2025

EU Forum for industrial technology and materials

2 - 4 Czerwca Kraków, Polska

Driving Green Technologies and Materials in Industry

W pierwszej połowie 2025 roku prezydencją w Radzie Unii Europejskiej obejmuje Polska, w ramach której w dniach 2-4 czerwca 2025 roku organizowana jest w Krakowie międzynarodowa konferencja EUIndTech2025.

EUIndTech2025 poświęcony będzie:

- dyskusji o nowych kierunkach rozwoju przemysłu w Unii Europejskiej
- wymianie wiedzy i doświadczeń w zakresie prowadzenia i finansowania badań oraz inwestycji wspierających transformację w kierunku zrównoważonego rozwoju
- prezentacji nowoczesnych rozwiązań technologicznych, w szczególności cyfrowych, ekologicznych, cyrkularnych, kosmicznych
- promocji podmiotów, w tym MŚP, startupów i spółek spin-off
- nawiązywaniu współpracy pomiędzy przedstawicielami nauki i przemysłu,



w tym także klastrami i organizacjami przedsiębiorców

W trakcie konferencji przewidziane są:

- prezentacje (w tym sesje posterowe)
- panele dyskusyjne
- rozmowy B2B
- indywidualne sesje z ekspertami
- wystąpienia promocyjne

Zainteresowanym podmiotom udostępnione zostaną stoiska wystawiennicze

Udział w konferencji jest bezpłatny, a rejestracja będzie dostępna na stronie www.indtech2025.eu.

The context

Transitions towards low-carbon energy systems and net-zero economies have started to be comprehensive and demanding, requiring substantial public support, new business models and new governance practices.

The project

SITRANS aims to elaborate on the complex and challenging nature of decarbonisation in coal regions considering the social, economic and environmental factors that influence the transition process and develop a robust framework for citizens to flourish on an individual and/or collective basis.

SITRANS will support coal regions in their transition processes following the guiding principle “leaving no one behind” through a fully functionally **JUST ENERGY TRANSITION OBSERVATORY**, a place-based governance approach and tailor-made transformative policies in areas that are intensely experiencing the coal phase out.



The Demo Regions

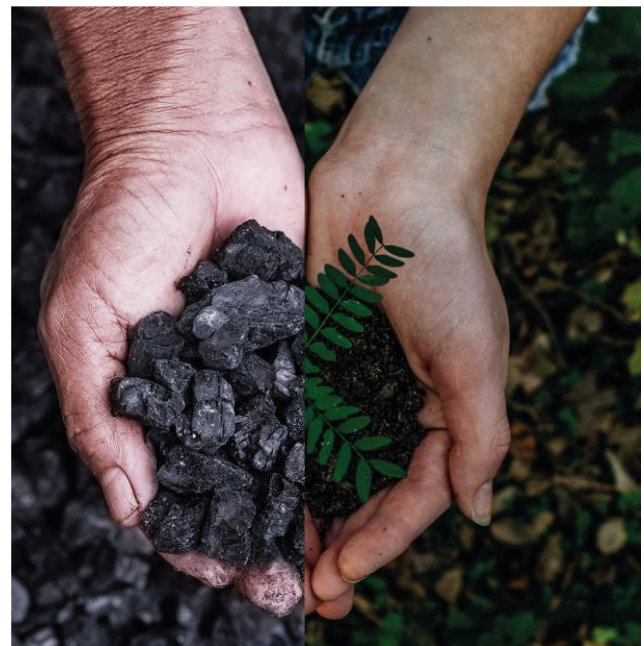
To reach its goal, SITRANS will implement its methodologies and approaches in 4 coal regions that represent an ideal test beds to analyse a transition process to a zero-carbon economy that is highly contested.

GREECE - Western Macedonia is an area that is highly dependent on lignite and that started its transition process in 2019;

POLAND - Silesia Region is a place whose economy has been based on the coal industry for centuries;

ITALY - Sardinia, one of the Italian regions where the economy is still based on coal and fuel oil power and that is now planning to convert to methane and/or biomass;

BULGARIA - Stara Zagora, the Energy heart of Bulgaria where most of the coal mines are located with long term plans for coal phase out.



Learn more on www.sitrans-project.eu
LinkedIn: @SITRANSeu Twitter: @sitranseu