

Gospodarka odpadami budowlanymi i rozbiórkowymi

Construction and demolition waste management

WIKTORIA EULALIA JASEK, DOMINIK JONATAN SZAFRANIAK, ŁUKASZ ZEMSKI, ROMAN BEDNAREK, ANNA GŁOWACKA

DOI 10.36119/15.2025.4.6

Efektywne zarządzanie surowcami wtórnymi pochodzącymi z budowy, remontu i prac wyburzeniowych pozwala oszczędzić pieniądze i ograniczyć destrukcję środowiska. W artykule omówiono, ile odpadów budowlanych wytwarza się w Polsce porównując do innych krajów zrzeszonych w Unii Europejskiej. Wskazano hierarchię postępowania z odpadami i podano proporcje zagospodarowania uzyskiwanych z rozbiórek materiałów. W artykule poddano analizie odpady z rozbiórki obiektu sportowego określając, na podstawie danych zawartych w Kartach Przekazania Odpadów i dostarczonych od firmy rozbiórkowej, jakich surowców i ich proporcji w stosunku do siebie można spodziewać się po rozbiórce konstrukcji o podobnej technologii wznoszenia i przeznaczenia. Zebrane informacje pozwoliły wskazać, że największa ilość wywożonych w tym przypadku odpadów to gleba i ziemia, a dalej odpowiednio gruz betonowy, ceglany i zmieszany, którego proporcje znacząco różnią się w zależności od rodzaju rozbiieranej konstrukcji. Określono przewidywaną masę odpadów z podziałem na poszczególne frakcje odpadów dla obiektów o identycznej technologii wznoszenia.

Słowa kluczowe: odpady budowlane i rozbiórkowe (C&DW), budownictwo zrównoważone, sektor budowlany a środowisko

Effective management of secondary raw materials from the construction, renovation and demolishing buildings site saves money and reduces environmental destruction. The article discusses how much construction waste is generated in Poland compared to other countries associated in the European Union. The waste hierarchy is indicated and the proportions of materials obtained from demolition are given. In the article, an analysis was conducted on the waste generated from the demolition of a sports facility, determining the types of materials and their proportions based on the data contained in the Waste Transfer Notes provided by the demolition company. The collected information enabled the identification of predominant types of waste expected from the demolition of structures with similar construction technologies and intended purposes. The findings indicated that the largest volume of waste removed in this instance comprised soil and earth, followed by concrete rubble, brick debris, and mixed materials, the proportions of which may vary significantly depending on the type of structure being demolished. The expected weight of waste was determined, broken down into individual waste fractions for facilities with identical construction technology.

Keywords: construction and demolition waste (C&DW), sustainable building, construction sector and environment

Wstęp

Gospodarka odpadami w budownictwie jest coraz chętniej poruszany w świecie tematem. Sektor budowlany jest największym motorem zużycia zasobów i wytwarzania odpadów w Europie. Unia Europejska (UE) podejmuje wysiłki, aby przejść od tradycyjnego liniowego systemu zarządzania zasobami i odpadami w sek-

torze budowlanym do poziomu wysokiej cyrkulacji. W oparciu o teorię gospodarki o obiegu zamkniętym w dyrektywie ramowej UE w sprawie odpadów wprowadzono nowy paradygmat zwany hierarchią odpadów (C&DW) w Europie [1].

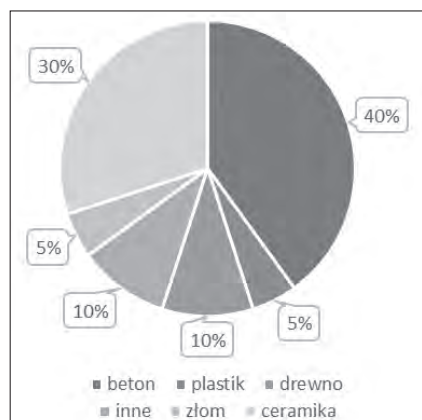
Odpady, w świetle ustawy o odpadach [4], oznaczają każdą substancję lub przedmiot, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub, do których

pozbycia jest zobowiązany. Odpadami budowlanymi określa się wszelkie materiały powstałe w wyniku prac budowlanych, modernizacyjnych, remontowych oraz rozbiórkowych. Są to między innymi: beton, ceramika, drewno, tworzywa sztuczne oraz metale, z których dwie pierwsze stanowią największą grupę (rys. 1). Niemożliwe jest jednak, aby wskazane proporcje były możliwe do zastosowania przy

mgr inż. Wiktoria Eulalia Jasek <https://orcid.org/0009-0003-5462-0010>, Dominik Jonatan Szafraniak, dr hab. inż. Anna Głowacka, prof. ZUT <https://orcid.org/0000-0002-4733-5970> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii Środowiska

Łukasz Zemski – Recycling Group Sp. z o.o., Szczecin

dr inż. Roman Bednarek <https://orcid.org/0000-0003-3607-8363> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Geotechniki



Rysunek 1.
Udział procentowy odpadów budowlanych, %.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5]
Figure 1. Percentage of construction waste, %.
Source: Own study based on [5]

każdej budowli. Jest to związane z wieloma czynnikami tj. technologia wznoszenia konstrukcji, sposób wykorzystywania budynku, rodzaje zastosowanej instalacji i wiele innych. Wskazane jest zbadanie jak największej liczby różnorodnych budynków i określenie dla poszczególnych grup odpowiednich proporcji ułatwiających prognozowanie ilości odpadów przy przyszłych rozbiórkach.

Do odpadów budowlanych zaliczane są również odpady z obiektów infrastruktury drogowej i innych. Wśród wszystkich odpadów, stanowią one aż 32% masy ogólnej odpadów [2, 3, 4]. Właściwe zarządzanie nimi ma na celu nie tylko zmniejszenie ilości materiałów trafiających na składowiska, ale również maksymalizację odzysku surowców wtórnych, które będzie można wykorzystać ponownie w budownictwie oraz ograniczenie emisji substancji szkodliwych. Prowadzone dotąd analizy wykazały, że recykling odpadów C&DW może być skuteczną opcją łagodzenia ryzyka osuwisk; zmniejszyć zużycie energii; zrównoważyć emisję gazów cieplarnianych, z których około 39% przypisuje się branży budowlanej; odzyskać materiały o wartości dodanej; tworzyć miejsca pracy; i chronić zasoby naturalne Ziemi. Wyniki badań podkreślają znaczenie recyklingu na miejscu i segregacji u źródła również w celu złagodzenia ryzyka związanego z odpadami niebezpiecznymi [3].

Najefektywniejszą metodą zbiórki jest zbiórka wybiórcza „u źródła”, która umożliwia ponowne wykorzystanie wyselekcjonowanych materiałów w miejscu ich wytworzenia. Możliwa jest również selekcja w zakładach mechanicznego sortowania oraz na składowiskach odpadów.

Selektywną zbiórkę odpadów budowlanych należy szczególnie rozważyć

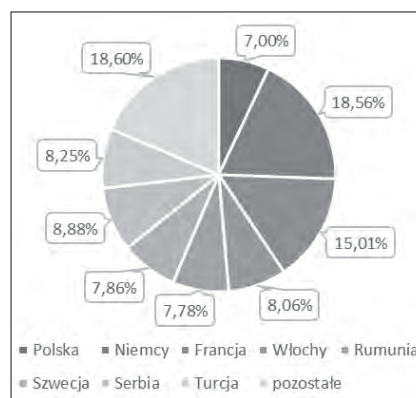
w głównych miejscach ich powstawania, takich jak budowa, remont i rozbiórka. Przy realizacji nowych obiektów budowlanych i remontów zaplanowanie zbiórki odpadów nie stanowi większych trudności. Planując zagospodarowanie placu budowy, należy przewidzieć miejsce na składowisko odpadów, które będzie spełniało dwa podstawowe kryteria: będzie usytuowane możliwie blisko miejsca wytworzenia odpadu oraz umożliwi łatwy odbiór odpadów przez instytucje zewnętrzne.

Działania rozbiórkowe są bardziej skomplikowane pod względem planowania selektywnej rozbiórki ze względu na różnorodność odpadów. Zaleca się, aby dla właściwej organizacji procesu prowadzić prace rozbiórkowe w odwrotnej kolejności do prac prowadzonych podczas budowy obiektu. Pozwoli to zachować jednorodność odpadów oraz zminimalizować powierzchnię ich składowania [3, 6, 8, 16].

Według informacji zawartych w Krajowym Planie Gospodarki odpadami „w latach 2014-2018 masa wytworzonych odpadów z grupy 17 wahała się w granicach 18,0-23,7 mln Mg, z widoczną tendencją wzrostu i maksymalną ilością odnotowaną w roku 2018”, natomiast masę odpadów niebezpiecznych z grupy 17 oszacowano w zakresie od 356 do 745 tys. Mg. Prognoza zmian wskazuje na zachowanie tendencji wzrostowej i dla utrzymującego się trendu w 2028 roku szacuje się masę odpadów z grupy 17 na około 31,0 mln Mg. W planie dla zakresu gospodarki odpadami budowlanymi przyjęto dwa główne cele: „zwiększenie świadomości wśród inwestorów oraz podmiotów wytwarzających odpady” oraz „utrzymanie występującego trendu uzyskiwania poziomu przygotowania do ponownego użycia, recyklingu oraz innych form odzysku odpadów budowlanych i rozbiórkowych na poziomie minimum 70% wagowo” [7]. Jest to istotna wskazówka, świadcząca o tym, że temat zagospodarowania odpadów jest niewyczerpany, a ilość dostępnych rozwiązań niewystarczająca lub nieodpowiednia ekonomicznie, aby mogła być powszechnie stosowana i aby wpływała na aktualne prognozy.

Masa odpadów poddanych przetwarzaniu według Eurostat w Unii Europejskiej od 2014 roku do 2022 roku zachowuje tendencję malejącą dla Polski od wartości 182 mln Mg do 139 mln Mg. Natomiast dla wszystkich 27. obecnie zrzeszonych krajów członkowskich w UE utrzymywała się w zakresie od 1 994 mln Mg do 2 172

mln Mg. Przetworzone odpady w Polsce w 2022 roku stanowiły 7,0 % wszystkich odpadów wytworzonych w Unii Europejskiej, klasyfikując ją na 8. miejscu (rys. 2). Z wytworzonych w 2022 r. odpadów odpady budowlane i rozbiórkowe stanowiły 38,4 %, a w Polsce 12,3 % [8]. Globalny wskaźnik wytwarzania odpadów stałych wzrósł z mniej niż 0,3 Mt dziennie w 1900 r. do ponad 3,5 Mt dziennie w 2010 r. i podwoi się w 2025 r. oraz potroi do 2100 r. [1, 9].



Rysunek 2.
Procentowy rozkład udziału państw Unii Europejskiej w przetwarzaniu odpadów, %.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [8]
Figure 2. Percentage distribution of the share of European Union countries in waste processing, %.
Source: Own study based on [8]

Hierarchia postępowania z odpadami jest głównym elementem zarządzania odpadami i ochrony środowiska. Określa priorytety w gospodarowaniu odpadami, wskazując najbardziej pożądane działania, które minimalizują negatywny wpływ na środowisko. Hierarchia ta zazwyczaj obejmuje pięć głównych poziomów. Najbardziej pożądanym postępowaniem w hierarchii jest zapobieganie powstawaniu odpadów. Następnie znajduje się ponowne użycie odpadów, dotyczy to wykorzystania produktów lub ich elementów ponownie, bez konieczności ich przetwarzania. Recykling znajduje się w połowie piramidy. Najmniej pożądaną praktyką podczas gospodarowania odpadami jest ich unieszkodliwienie. Hierarchia ta jest promowana przez wiele organizacji i krajów na całym świecie, ponieważ pomaga w ograniczaniu negatywnego wpływu odpadów na środowisko oraz sprzyja bardziej zrównoważonemu rozwojowi. Wdrażanie działań zgodnych z tą hierarchią wymaga współpracy zarówno ze strony producentów, konsumentów, jak i rządów, a także odpowiedniego systemu prawnego i infrastruktury do zarządzania odpadami.

Minimalizacja powstawania odpadów budowlanych jest kluczowym elementem

zrównoważonego budownictwa, który ma na celu zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko, obniżenie kosztów oraz poprawę efektywności wykorzystania zasobów. Praktyki bardziej doświadczonych krajów, które są wiodące w dziedzinie gospodarki odpadami przedstawiają, że rozwój metod minimalizowania ich będzie się odbywać nie tylko w sferze produkcyjnej, ale również będzie zależeć od umiejętności podejmowania spójnych oraz zgodnych postaw producentów, handlowców jak i konsumentów. Ze strony producentów produktów budowlanych, tanie i psujące się w krótkim czasie materiały powinny być zastąpione przez trwałe materiały z możliwością ewentualnej naprawy. W handlu produktami budowlanymi ważne jest, aby opakowania produktów były stosowane tylko wtedy kiedy wystąpi konieczność ich użycia, powinny być wykonane z trwałych materiałów, do których produkcji użyto jak najmniejszej liczby różnych surowców oraz opakowania powinny mieć możliwość zwrotu. W gestii konsumentów powinna się znajdować świadomość dbania o środowisko i poddawania produktów oraz opakowań recyklingowi bądź odzyskowi.

W dziedzinie budownictwa minimalizacja odpadów można osiągnąć na poziomie projektowania obiektów poprzez dokładne oraz przemyślane planowanie. Te praktyki mogą znacznie zmniejszyć ilość odpadów. Architekci i inżynierowie powinni brać pod uwagę standardowe rozmiary materiałów, aby zminimalizować odpady wynikające z cięć oraz poprawek podczas budowy i zmiany projektu. Również przy planowaniu użycia surowców powinno się brać pod uwagę materiały budowlane, które nie mają negatywnego wpływu na środowisko i mogą być poddane recyklingowi po rozbiórce obiektu oraz trwałe materiały, co zmniejsza konieczność ich wymiany. Podczas prac budowlanych ważne jest zapewnienie dogodnego miejsca na składowanie materiałów budowlanych, aby zmniejszyć wpływ oddziaływania środowiska i warunków atmosferycznych oraz chronić je przed uszkodzeniami mechanicznymi [10].

W celu opracowania modelu gospodarki odpadami budowlanymi, przyszły kierunek powinien być bardziej skoncentrowany na praktykach demontażu, postępowaniu z materiałami niebezpiecznymi, kontroli jakości przyjmowania odpadów i procesach odzysku materiałów, a także na mechanizmie zachęt w celu promowania korzyści ekologicznych, ekonomicznych i społecznych płynących z eksploatacji w sektorach budowy i rozbiórki [11, 12, 13, 14, 15]

Metodyka badań

Przedmiotem analizy jest określenie, jakich surowców i ich proporcji w stosunku do siebie można spodziewać się po rozbiórce konstrukcji o podobnej technologii wznoszenia i przeznaczenia, co pozwoli w przyszłości dokładniej przewidywać proporcje uzyskanych z rozbiórki odpadów. Ujęte w artykule obiekty podlegające rozbiórce należą do kategorii XV – *budynki sportu i rekreacji, jak: hale sportowe i widowiskowe, kryte baseny* oraz kategorii XVII – *budynki handlu, gastronomii i usług, jak: sklepy, centra handlowe, domy towarowe, hale targowe, restauracje, bary, kasyna, dyskoteki, warsztaty rzemieślnicze, stacje obsługi pojazdów, myjnie samochodowe, garaże powyżej dwóch stanowisk, budynki dworcowe* i zostały wzniesione w drugiej połowie XX wieku na terenie województwa zachodniopomorskiego. Do rozbiieranych obiektów kompleksu sportowego wlicza się halę widowiskowo-sportową z trybunami, budynki basenu z trybunami, pomieszczenia klubowe, szatnie, toalety, punkt medyczny, kiosk gastronomiczny, obiekty techniczne tj. magazyn i śmietnik. Łączna kubatura rozbiieranych konstrukcji to blisko 11.500 m³. Budynki te w okresie przeznaczenia do użytkowania wyposażone były w instalacje elektryczne, wodne, kanalizacyjne, c.o., technologii basenowej oraz wentylacji mechanicznej. Przed rozpoczęciem prac rozbiórkowych, w trakcie inwentaryzacji stwierdzono, że w budynkach nie znajdowały się już instalacje miedziane oraz białego montażu. Prace polegające na mechanicznej rozbiórce obiektu rozpoczęły się w grudniu 2023 roku i zostały zakończone w maju 2024 roku. Uzyskany gruz budowlany został zebrany, przesortowany i wywieziony z placu budowy.

Informacje na temat konstrukcji budynku oraz szczegóły dotyczące przeprowadzonych w tym obiekcie prac rozbiórkowych, pochodzą z wewnętrznej bazy danych firmy rozbiórkowej i siedemdziesięciu pięciu Kart Przekazania Odpadów (KPO), w których rejestrowane są wszystkie wywozy z podziałem na poszczególne kody odpadów z terenu rozbiórki. Odpady generowane na terenie obiektu wynikały głównie z prowadzonych tam prac rozbiórkowych oraz robót ziemnych. Prace te obejmowały m.in. usuwanie istniejących elementów konstrukcyjnych, instalacji sanitarnych, elektrycznych i technicznych oraz przygotowanie gruntu pod dalsze działania.

Podczas prowadzonych prac rozbiórkowych obiektu wygenerowano znaczne

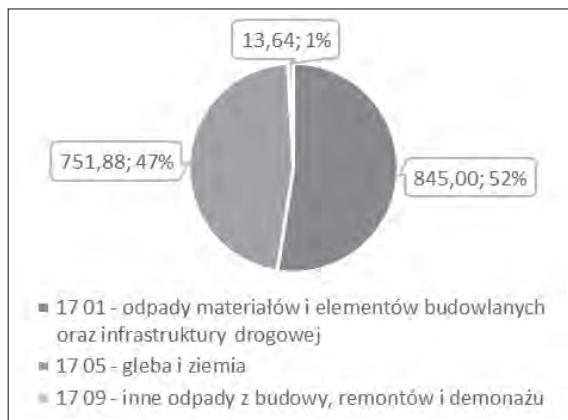
ilości odpadów budowlanych, które zostały sklasyfikowane w odpowiednie podgrupy. Wyróżniono trzy główne grupy odpadów 17 01 – odpady pochodzące z materiałów budowlanych, elementów konstrukcyjnych oraz infrastruktury drogowej, 17 05 – odpady w postaci gleby i ziemi (włączając glebę i ziemię z terenów zanieczyszczonych oraz urobek z pogłębiania), oraz 17 09 – obejmującą inne odpady związane z pracami budowlanymi, remontowymi oraz demontażowymi.

Zebrane dane posortowano pod względem dat wystawienia KPO. Zestawienia zostały poddane analizie pod względem masy odpadów z podziałem na poszczególne kody grup odpadów.

Analiza

Z terenów podlegających rozbiórce wygenerowano 1610,52 Mg odpadów budowlanych, przypisanych do wyszczególnionych wcześniej grup. W obrębie grup dokonano szczegółowego rozdziału odpadów, wyróżniając kilka kluczowych rodzajów. Odpady betonu oraz gruzu betonowego z rozbiórek i remontów, oznaczone są kodem odpadu 17 01 01, gruz ceglany o kodzie 17 01 02 oraz zmieszane odpady z betonu, gruzu ceglano, odpadowych materiałów ceramicznych i elementów wyposażenia oznaczany kodem 17 01 07, zostały odseparowane i uwzględnione w zestawieniu. W podgrupie odpadów oznaczonych kodem 17 05 znalazły się wyłącznie odpady sklasyfikowane pod kodem 17 05 04, co obejmuje głównie glebę, ziemię oraz kamienie, które nie są objęte kategorią 17 05 03. Z kolei w podgrupie odpadów określonych jako „inne odpady z budowy, remontów i demontażu”, oznaczonej kodem 17 09, wyodrębniono tylko odpady o kodzie 17 09 04. Są to zmieszane odpady powstające w wyniku prac budowlanych, remontowych i demontażowych, które nie zostały sklasyfikowane pod kodami 17 09 01, 17 09 02 i 17 09 03. Odpady te charakteryzują się różnorodnym składem i nie spełniają kryteriów dla odpadów bardziej specyficznych, jak te wymienione w innych podgrupach. W ramach przeprowadzonej analizy uwzględniono masę poszczególnych podgrup odpadów w całkowitej masie odpadów oraz przedstawiono procentowy udział poszczególnych grup odpadów w całkowitej masie odpadów wygenerowanych podczas prac rozbiórkowych i budowlanych na rys. 3.

Największą masę odpadów zakwalifikowano do grupy oznaczonej kodem



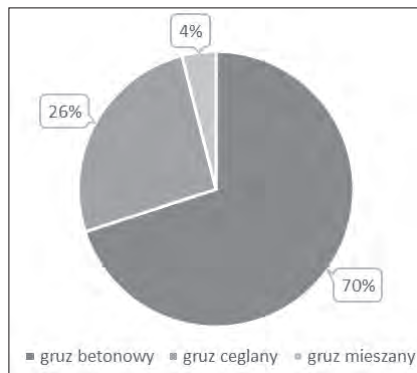
Rysunek 3.
Masa poszczególnych podgrup odpadów budowlanych, Mg
Figure 3. Mass of individual subgroups of construction waste, Mg

17 01, obejmującej materiały budowlane oraz elementy infrastruktury – 845 Mg (rys. 3). Zawierają one różnorodne materiały budowlane, które nie zostały wyodrębnione w trakcie rozbiórki, często będąc wynikiem bardziej złożonych prac rozbiórkowych, gdzie trudno jest oddzielić poszczególne frakcje materiałów. W analizowanej grupie dominującym typem odpadu jest gruz betonowy, drugi co do wielkości udział stanowi gruz ceglany, a najmniejszy udział w tej grupie ma gruz zmieszany (rys. 4). Zależność ta wynika z materiałów użytych do wznoszenia rozbiieranych konstrukcji. Ściany nośne i działowe wznoszone były z cegły dziurawki (odmiana cegły pełnej posiadającej otwory), a pozostałe elementy konstrukcyjne żelbetowe.

Odpady należące do podgrupy o kodzie 17 05, miały nieco mniejszy, ale nadal znaczący udział w całości, wynoszący 47%. Tego typu odpady powstają głównie podczas robót ziemnych związanych z przygotowaniem terenu pod budowę. Warto podkreślić, że gleba i ziemia były kluczowymi odpadami wytworzonymi podczas rozbiórki, co miało bezpośredni związek z pracami na terenie robót, w tym m.in. z usuwaniem warstw ziemi z placu budowy (rys. 3).

Najmniejszy procentowy udział w analizowanej masie odpadów przypadł podgrupie zmieszanych odpadów budowlanych o kodzie 17 09, która stanowiła zaledwie 1% całkowitej masy. Oznacza to, że większość odpadów wywożonych z terenu rozbiórki jednoznacznie mogła być sklasyfikowana jako odpady kodu 17 01 lub 17 05 i może to świadczyć o zaplanowanym i systematycznym podejściu do zarządzania odpadami, a także o starannym monitorowaniu i kontroli wywozu odpadów na każdym etapie robót (rys. 3).

Analiza całkowitej masy odpadów (grupy i podgrupy) wykazała, że największą część wywiezionych odpadów stano-



Rysunek 4.
Udział procentowy poszczególnych frakcji odpadów budowlanych z podgrupy 17 01, %
Figure 4. Percentage share of individual fractions of construction waste from subgroup 17 01, %



Rysunek 5.
Udział procentowy poszczególnych frakcji odpadów budowlanych, %
Figure 5. Percentage share of individual fractions of construction waste, %

wił gruz betonowy (17 01 01) oraz gleba i ziemia (17 05 04) (rys. 5). Wyniki obserwacji są zgodne z obecnie znaną powszechnie literaturą, która wskazuje odpady betonowe jako jedne z najobszerniejszych grup wśród odpadów rozbiórkowych [5].

Możliwość pobrania danych z KPO dotyczących wywozów odpadów z terenu rozbiórek pozwala na uzyskanie rzetelnych informacji na temat ilości odpadów zakwalifikowanych do poszczególnych grup odpadów. Posiadając przy tym dane doty-

cząco kubatury rozbiieranych konstrukcji można przyjąć założenie, że dla budynku o identycznej technologii wznoszenia i przeznaczeniu na każdy 1 m³ uzyskamy 0,139 Mg odpadów. Przewidywana masa odpadów z podziałem na poszczególne frakcje odpadów została przedstawiona w tab. 1. Wyniki te uzyskano poprzez podzielenie uzyskanych ilości odpadów (Mg) przez kubaturę rozbiieranej konstrukcji (m³).

Tabela 1. Przewidywana masa poszczególnych frakcji budowlanych na 1 m³ budowli, Mg
Table 1. Expected weight of individual building fractions per 1 m³ of buildings, Mg

Rodzaj odpadu	Mg
gleba i ziemia	0,065
gruz zmieszany	0,003
gruz ceglany	0,019
gruz betonowy	0,050
zmieszane odpady	0,001

Przedstawiona propozycja wyliczenia przewidywanych proporcji nie jest najdokładniejszą formą uzyskania wyniku. Istotny wpływ na ilość odpadów poza samą kubaturą ma charakter zabudowy wewnątrz budynku, tj. ściany działowe, liczba kondygnacji, itp. Znajomość dokładnych wymiarów tych elementów umożliwiłaby dokładniejsze wyliczenie proporcji pomiędzy objętością wyburzanych elementów a ilością odpadów z podziałem na poszczególne frakcje. Wskazane proporcje mogą być przydatne dla szybkiego określenia przybliżonych wartości.

W celu osiągnięcia najbardziej miarodajnych wartości wskazane jest przeanalizowanie danych z kolejnych co najmniej dwóch obiektów poddanych rozbiórce o podobnej technologii wznoszenia i przeznaczeniu, a następnie porównanie wyników ze sobą.

Podsumowanie

Gromadzenie danych dotyczących wywozów odpadów z podziałem na grupy oraz poddawanie ich analizie pod wieloma kątami jest niezbędne do przeprowadzenia oceny efektywności gospodarki odpadami na placu budowy i monitorowania postępu prac rozbiórkowych, ale pozwala również na efektywne planowanie dalszych działań dotyczących zagospodarowania i recyklingu odpadów.

Korzystając z analizy zawartej w artykule przed rozbiórką kolejnego obiektu kategorii XV, wybudowanego w drugiej połowie XX wieku można założyć, że największą grupę odpadów rozbiórkowych będzie stanowić odpowiednio gruz



betonowy, ceglany i zmieszany, a przy tym wykorzystując rozbiórki mechaniczne równie znaczącą grupą będzie gleba i ziemia. Dla wstępnego określenia przybliżonych wartości mogą być przydatne wskazane w treści proporcje ilości odpadów poszczególnych frakcji. Do osiągnięcia najbardziej miarodajnych wartości niezbędne jest jednak prowadzenie kolejnych analiz.

Znając prognozowane proporcje uzyskanych z rozbiórki surowców wtórnych, przy zastosowaniu odpowiedniej technologii odzysku poprzez segregację, kruszenie i zagospodarowanie spora część odpadów w postaci kruszca mogłaby być wykorzystana na placu budowy lub skierowana do zakładów recyklingowych. Przy obecnym wzrostowym trendzie produkcji odpadów budowlanych wydaje się to dobrą praktyką, zgodną z hierarchią postępowania odpadami i dążącą do zwiększenia udziału Polski na arenie Unii Europejskiej w przetwarzaniu odpadów.

Odpowiednie zarządzanie odpadami w miejscu ich powstawania, zwłaszcza poprzez wykorzystanie ich w procesach produkcyjnych na placu budowy może zmniejszyć koszty ponoszone przez przedsiębiorstwo budowlane na zakup nowych surowców oraz zmniejszyć liczbę przejazdów ciężkich pojazdów transportowych, a co za tym idzie obniżyć emisję spalin i hałasu oraz zmniejszyć zużycie dróg i paliwa. Optymalizacja gospodarki odpadami budowlanymi i rozbiórkowymi to wyzwanie, które wymaga komplekso-

wego podejścia oraz współpracy wielu podmiotów. Wdrażanie nowoczesnych technologii i praktyk recyklingowych w budownictwie, a także odpowiedzialne zarządzanie odpadami, może przyczynić się do ochrony środowiska, jak i rozwoju branży budowlanej.

LITERATURA

- [1] Chunbo Zhang a, Mingming Hu, Francesco Di Maio, Benjamin Sprecher, Xining Yang, Arnold Tukker, An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe, *Science of the Total Environment*, Volume 803, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149892>.
- [2] Ahmad M., *Wykorzystanie odpadów budowlanych w budownictwie jako czynnik zrównoważonego rozwoju*, Studia komitetu przestrzennego zagospodarowania kraju, 2011, s. 478-490.
- [3] M. A. T. Alsheyab, Recycling of construction and demolition waste and its impact on climate change and sustainable development, *International Journal of Environmental Science and Technology* 2022, 19:2129–2138 <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03217-1>.
- [4] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach Dz. U. 2013 poz. 21
- [5] Zarychta J., Kakali G., Zhou X., *Green Integrated Structural Elements for Retrofitting and New Construction of Buildings*, Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing, 2016.
- [6] Iżykowska-Kujawa M., *Zagospodarowanie odpadów budowlanych – technologie z których korzystamy*, Inżynieria Ekologiczna, Politechnika Wroclawska, 2013, s. 49-60.
- [7] Uchwała nr 96 Rady Ministrów z dnia 12 czerwca 2023 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2028, M.P. 2023 poz. 702.
- [8] Eurostat, Waste generation and treatment, 30.09.2024 r., https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/env_wasgt_esms.htm.
- [9] Michalski K., Sitko J., *Wybrane problemy minimalizacji wytwarzania odpadów*, Systems Supporting Production Engineering, 2016, s. 80-89.
- [10] Hoorweg, D., Bhada-Tata, P., 2012. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. <https://doi.org/10.1111/febs.13058>.
- [11] Prieto-Sandoval, V.; Jaca García, C.; Ormazabal Goenaga, M. Circular economy: An economic and industrial model to achieve the sustainability of society. In Proceedings of the Proceedings of the 22nd Annual International Sustainable Development Research Society Conference. Rethinking Sustainability Models and Practices: Challenges for the New and Old World Contexts, Lissabon, Portugal, 13–15 July 2016; pp. 504–520.
- [12] Wijkman, A.; Skånberg, K. The Circular Economy and Benefits for Society; Club of Rome: Winterthur, Switzerland, 2015.
- [13] Seadon, J.K. Sustainable waste management systems. *J. Clean. Prod.* 2010, 18, 1639–1651.
- [14] M. A. T. Alsheyab, Recycling of construction and demolition waste and its impact on climate change and sustainable development, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2022, 19:2129–2138 <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03217-1>.
- [15] Callun Keith Purchase, Dhafer Manna Al Zulayq, Bio Talakatoa O'Brien, Matthew Joseph Kowalewski, Aydin Berenjian, Amir Hossein Tarighaleslami and Mostafa Seifan, *Circular Economy of Construction and Demolition Waste: A Literature Review on Lessons, Challenges, and Benefits*, *Materials* 2022, 15(1), 76; <https://doi.org/10.3390/ma15010076>.
- [16] Jasek W., Głowacka A., *Analiza gospodarki odpadami budowlanymi*, Instal, 7-8/2023, s. 55-57 DOI: 10.36119/15.2023.7-8.9.

