

22

EKONOMICZNE I EKOLOGICZNE SKUTKI ZAGOSPODAROWANIA ODPADÓW BUDOWLANYCH W KONTEKŚCIE ROZWOJU ZRÓWNOWAŻONEGO

22.1 WPROWADZENIE

Budownictwo jako jedna z dziedzin działalności człowieka, polega na wznoszeniu obiektów mieszkalnych w celu zaspokojenia podstawowych potrzeb mieszkaniowych społeczeństwa oraz obiektów infrastruktury i użyteczności publicznej. Inwestycje te w bardzo dużym stopniu korzystają z odnawialnych i nieodnawialnych zasobów surowcowych w trakcie ich realizacji (np.: kruszywa naturalne, metale, drewno i materiały drewnopochodne, tworzywa sztuczne, woda, energia pierwotna i wtórna, papier), jak również podczas ich użytkowania (konserwacja i remonty związane z odnową lub przebudową, rewitalizacją obiektów). Odpady budowlane powstają w trakcie całego cyklu życia inwestycji, czyli od momentu rozpoczęcia budowy obiektu, poprzez okres jego eksploatacji (użytkowania), po moment likwidacji lub inaczej wyburzenia (rozbiórki). Odpady te stanowią duży problem w naszym kraju, głównie z uwagi na coroczny wzrost ich ilości. Ważne jest więc wdrażanie, w jak największym zakresie, elementów recyklingu tej grupy odpadów.

W ostatnich latach budownictwo przechodzi swoistego rodzaju transformację za sprawą popularyzacji myślenia w kategoriach całego cyklu życia (*LCT – Life Cycle Thinking*) i wdrażania w tę dziedzinę gospodarki idei rozwoju zrównoważonego. **Zrównoważone budownictwo** polega na projektowaniu, wznoszeniu, użytkowaniu oraz rozebraniu obiektu budowlanego w sposób zgodny z zasadą 4R [3, 33]:

- 1) Reduce (zmniejszenie) – mniejsze zużycie zasobów naturalnych i energii, materiałów budowlanych do wzniesienia inwestycji budowlanej;
- 2) Reuse (ponowne użycie) – ponowne użycie materiałów konstrukcyjnych tam, gdzie jest to możliwe;
- 3) Recycle (recykling) – odzysk i recykling materiałów wykorzystywanych przy wznoszeniu budynku oraz projektowanie z myślą o odzysku;
- 4) Renewable (odnowienie) – wykonanie komponentów budowlanych z surowców odnawialnych oraz wykorzystanie energii pochodzącej z zasobów naturalnych, ale w głównej mierze z nośników odnawialnych.

Wierzbicki definiuje zrównoważone budownictwo jako budownictwo mające na celu: „stworzenie i odpowiedzialne zarządzanie zdrowym obszarem zabudowanym, opartym na

zasadzie efektywnego i ekologicznego wykorzystania zasobów naturalnych. Uwzględnia ono aspekt środowiska i jakości życia, ponadto kwestie kulturowe i sprawiedliwości społecznej oraz ekonomiczne ograniczenia [32].

Następstwem popularyzacji na rynkach europejskich zrównoważonego budownictwa, stało się zwiększenie zainteresowania **budynkami pasywnymi**, których podstawowymi cechami są: bardzo niskie zapotrzebowanie na energię do ogrzewania – 15 kWh/m²/rok oraz radykalne zmniejszenie strat ciepła związane z przenikaniem przez ściany i na wentylację. Budynki pasywne nie potrzebują konwencjonalnych grzejników a niezbędna ilość ciepła jest dostarczana przez dogrzewanie powietrza wentylacyjnego. Ideą takich budynków jest poprawa parametrów elementów i systemów istniejących w każdym budynku, zamiast wprowadzania dodatkowych, kosztownych rozwiązań [11].

Jednym z instrumentów implementujących ideę rozwoju zrównoważonego, w różne dziedziny gospodarki, jest technika zarządzania środowiskowego zwana **oceną cyklu życia** (*LCA – Life Cycle Assessment*), która dzięki swojej uniwersalności znalazła również szerokie zastosowanie w sektorze budownictwa [4, 6, 7, 13, 16, 23-25]. W literaturze przedmiotu wyróżnia się dwa podejścia do tego zagadnienia: „modułowy”, (*bottom-up*), w którym zakresem badań obejmuje się materiały budowlane lub poszczególne moduły obiektu budowlanego oraz „od góry do dołu” (*top down*), gdzie analizie podlega cały budynek i jego cały cykl życia [10]. Równie ważne jak ocena ekologiczna budynków jest rozważanie konsekwencji ekonomicznych związanych z efektywnością inwestycji budowlanych. Budownictwo dysponuje znormalizowaną metodyką w zakresie kalkulowania kosztów w oparciu o poszczególne etapy życia obiektu (ISO 21931-1:2010) i to właśnie dla tego sektora opracowano pierwsze modele wprowadzające **koszty cyklu życia** (*LCC – Life Cycle Costing*) do analiz opłacalności inwestycji [15, 21].

W literaturze przedmiotu nierzadko akcentuje się temat integracji technik LCA i LCC dla sektora budownictwa, co świadczy o istotności tego typu podejścia [12]. Według Abrahama i Dickinsona w analizach kosztowych uwzględnia się przede wszystkim takie kategorie jak: koszty inwestycyjne, koszty energii, koszty remontów i konserwacji. Dużo mniej uwagi poświęca się kosztom zagospodarowania odpadów chociaż i ta kwestia nie jest odosobniona [1].

W artykule przedstawiono wymiar ekonomiczny i ekologiczny zagospodarowania odpadów w cyklu życia czterech budynków mieszkalnych, różniących się od siebie technologią wykonania i spełnianym standardem energetycznym. Za główny cel badania obrano powiązanie czterech obszarów, a mianowicie:

1. struktury materiałowej budynków;
2. ilości powstających odpadów w całym cyklu życia budynków,
3. oddziaływania na środowisko generowanych odpadów;
4. powstałych kosztów i przychodów końcowego zagospodarowania odpadów.

22.2 REGULACJE PRAWNE DOTYCZĄCE ODPADÓW BUDOWLANYCH

Gospodarka światowa zmaga się z rosnącym niedoborem zasobów naturalnych czego odzwierciedleniem jest rosnąca ich cena i w rezultacie końcowym ceną wyrobu finalnego. W niniejszym artykule wyrobem finalnym jest budynek mieszkalny, więc w tym przypadku cena

surowców niezbędnych do postawienia i wyposażenia budynku, w znaczącym stopniu wpływa na cenę końcową mieszkania. Ogromny potencjał surowcowy dostrzegła w tym przypadku Unia Europejska (poprzez zastosowanie zasady 4R), a szczególnie w zakresie zwiększenia poziomu recyklingu oraz ponownego wykorzystania odpadów budowlanych do roku 2020 co opisuje Dyrektywa 2008/98/WE [8].

Unia Europejska zwraca uwagę również na możliwość dokonywania usprawnień w budownictwie i użytkowaniu budynków. Według danych Komisji UE usprawnienia te wpłynęłyby na 42% zmniejszenie finalnego zużycia energii, na około 35% zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych [17] i na ponad 50% zmniejszenie wydobycia wszystkich surowców, a także mogłyby pomóc zaoszczędzić do 30% wody [18]. Dlatego też kładzie się nacisk na wzmocnienie istniejących strategii promowania efektywności energetycznej oraz wykorzystania energii odnawialnej w budynkach. Ponadto UE zwraca uwagę na uzupełnienie istniejących strategii strategiami efektywnego gospodarowania zasobami, które uwzględnią w szerszym zakresie oddziaływanie na środowisko w całym cyklu życia budynków i infrastruktury. We wszystkich etapach istnienia budynków należy w większym stopniu uwzględniać koszty związane z eksploatacją budynków, w tym szczególnie powstające odpady budowlane i rozbiórkowe, a nie tylko koszty początkowe związane z powstaniem budynków.

Ustawodawstwo polskie klasyfikuje odpady w ramach tzw. *Katalogu Odpadów* zawierającego 20 głównych grup, wśród których odpadom budowlanym przypisano numer 17, z podaniem poszczególnych podgrup i opisem rodzajów odpadów, łącznie z niebezpiecznymi odpadami budowlanymi (Dz. U. 2001, Nr 112, poz. 1206). Grupa 17 obejmuje odpady z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej (włączając glebę z terenów zanieczyszczonych) [27].

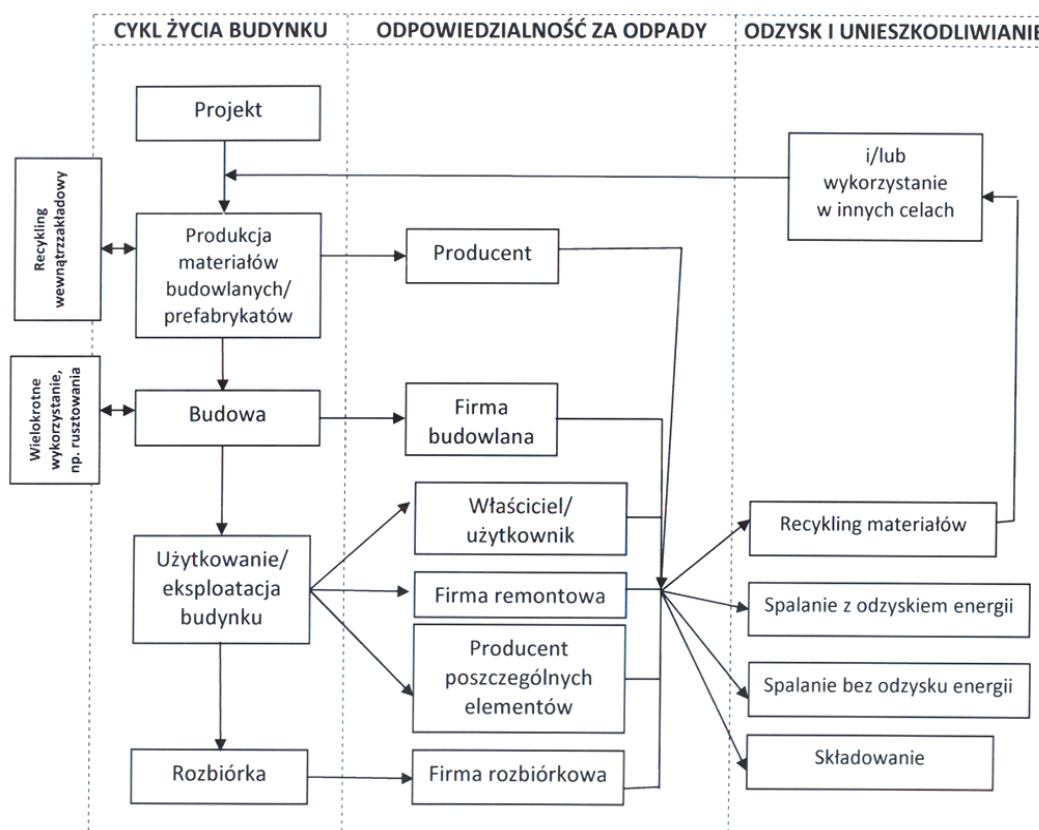
Istotne zapisy regulujące gospodarkę odpadami budowlanymi znajdują się w *Ustawie o utrzymaniu czystości i porządku w gminach* z dnia 13 września 1996 r., (t.j. Dz. U. 2005, nr 236, poz. 2008 z późn. zm.) oraz *Ustawie o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach* (Dz. U. 2011, nr 152, poz. 897; Dz. U. 2013, nr 0, poz. 228). W artykule 3b pkt. 1 i 2 ustawodawca zobowiązuje gminy do osiągnięcia do 31 grudnia 2020 roku poziomu recyklingu i przygotowania do ponownego użycia następujących frakcji odpadów komunalnych: papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła w wysokości co najmniej 50% wagowo; poziom recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami innych niż niebezpieczne odpadów budowlanych i rozbiórkowych w wysokości co najmniej 70% wagowo [30, 31].

22.3 ZAGOSPODAROWANIE ODPADÓW BUDOWLANYCH W POLSCE

W Polsce, według danych statystycznych najwięcej odpadów budowlanych wytwarzanych jest w podgrupie odpadów 17 05, czyli gleba i ziemia (około 71% wszystkich wytworzonych odpadów). Ilości te powstają podczas pierwszej fazy cyklu życia budowy lub robót drogowych. Drugą co do wielkości podgrupą odpadów jest 17 04 – odpady i złomy metaliczne oraz stopy metali (około 25%). W dalszej kolejności klasyfikują się odpady materiałów i elementów budowlanych oraz infrastruktury drogowej (17 01), odpady asfaltów, smoły i produktów smołowych (17 03), odpady drewna, szkła i tworzyw sztucznych (17 02),

materiały izolacyjne i materiały konstrukcyjne zawierające azbest (17 06), inne odpady z budowy, remontów i demontażu (17 09) oraz materiały konstrukcyjne zawierające gips (17 08).

Podgrupa 17 04 – odpady i złomy metaliczne oraz stopy metali, to podgrupa, do której zalicza się **konstrukcje stalowe** pozyskiwane podczas rozbiórki budynku. Stal jako surowiec wtórny, po uprzednim oczyszczeniu z farby, gipsu lub betonu, pocięciu na mniejsze elementy, podlega odsprzedaży do skupu złomu lub bezpośrednio do przetopu w hutach. Szacuje się średnio, iż 1 tona tego surowca pozwala zaoszczędzić 1,5 tony rudy żelaza, 0,5 tony węgla i 40% wody, która zostałaby zużyta do produkcji nowych konstrukcji stalowych, prętów, puszek lub innych wyrobów metalowych. **Zużyte drewno** z odzysku jako surowiec naturalny z powodzeniem może zostać ponownie wykorzystane do budowy nowego budynku mieszkalnego, a w przypadku jego wyeksploatowania (pęknięcia, podziurawienia przez korniki) spalone z odzyskiem energii. **Gruz budowlany** oprócz odzysku cegieł, dachówek czy innych pełnowartościowych materiałów z powodzeniem można wykorzystać jako kruszywo do wypełniania zagłębień, podmurówek, do budowy dróg. Kolejną grupą materiałów są tworzywa sztuczne. Zarówno **polietylen** o małej (LDPE) jak i dużej gęstości (HDPE) jest materiałem nadającym się do odzysku, ponieważ można go formować w płyty, które mogą być albo zupełnie gładkie, albo mieć pewną nadaną fakturę. HDPE w postaci twardych odpadów przemysłowych może zostać zgranulowany, wymieszany z rozdrobnionymi kartonikami po napojach i sprasowany pod dużym ciśnieniem do uzyskania wodoodpornych płyt nadających się dla budownictwa.



Rys. 22.1 Schemat przepływu odpadów budowlanych oraz formy ich zagospodarowania w całym cyklu życia budynku

Obecnie wiele innowacyjnych materiałów może być wytwarzanych z recyklingu odpadów budowlanych, których przykłady można znaleźć w pracy [3]. Nawet w przypadku **odpadów budowlanych niebezpiecznych**, zawierających azbest, znane są sposoby unieszkodliwiania inne niż składowanie, i tak: odpady azbestowe przetworzone metodą MTT (*Microwave Thermal Treatment*) pozwalają na uzyskanie kruszywa ATONIT, które może być używane w sektorze budownictwa, np. jako dodatek do betonów oraz w technologiach budowy dróg [5], odpady azbestowe można także stosować w technologii oczyszczania ścieków, jako wypełniacz złoża biologicznego [2]. Schemat przepływu odpadów budowlanych oraz formy ich zagospodarowania w całym cyklu życia budynku prezentuje rys. 22.1.

22.4 EKOLOGICZNA OCENA CYKLU ŻYCIA (LCA) I KOSZTY CYKLU ŻYCIA (LCC) W GOSPODARCE ODPADAMI

Istnieje całe spektrum możliwych zastosowania LCA, od realizowanych w skali mikro badań w odniesieniu do pojedynczego wyrobu, po analizy typu makro w obrębie całej gałęzi przemysłu [22]. Oznacza to, iż zakres badań LCA w kontekście gospodarki odpadami może dotyczyć zarówno: oceny scenariuszy końcowego zagospodarowania odpadów jak innowacyjnych rozwiązań technologicznych w obszarze całego sektora. W drugim podejściu do badań nad gospodarką odpadami konieczną praktyką staje się dążenie do optymalizacji poprzez połączenie oceny ekologicznej typu LCA z ekonomiczną typu LCC. Idea ta w sektorze gospodarki odpadami cieszy się coraz większą popularnością, o czym świadczą liczne projekty polskich oraz zagranicznych ośrodków naukowo - badawczych [9, 20, 28, 34, 35]. Inną koncepcję połączenia aspektów środowiskowych z finansowymi w kontekście gospodarki odpadami proponuje M.C. Reich. Autor proponuje wykonanie wyceny środowiskowych kosztów zewnętrznych za pomocą monetarnych metod ważenia wyników LCA i powiązanie ich z kosztami konwencjonalnymi [26].

W modelowaniu kosztów w kontekście oddziaływania pojedynczego produktu na środowisko kalkulacje kosztowe dotyczące jego utylizacji stanowią bardzo ważną kategorię, gdyż to właśnie ten etap cyklu życia generuje potencjalnie największe obciążenia środowiskowe [19]. Jednak w świetle nowej koncepcji szacowania kosztów zwanej *environmental Life Cycle Costing (e-LCC)* rozważaniom powinny podlegać wszystkie etapy ekologicznego cyklu życia w granicach systemu obowiązujących w LCA oraz dla zdefiniowanej jednostki funkcjonalnej [29]. Odpady stanowią istotny element inwentarzowy, dlatego konieczne jest ich uwzględnianie w aspekcie zarówno środowiskowym jak i ekonomicznym. Problem pojawia się jednak w kontekście metodycznej spójności LCA oraz e-LCC w tym zakresie.

Można podejść do tej kwestii w sposób uproszczony i założyć, iż odpowiednikiem obciążenia środowiskowego generowanego podczas składowania danej kategorii odpadów jest stawka za ich przyjęcie na kwaterę. W przypadku ponownego wykorzystania odpadu czyli odzysku materiałowego lub energetycznego mamy do czynienia z korzyścią środowiskową, dla której przypisanoby przychód z tytułu sprzedaży surowca wtórnego. Dbając o pełną spójność metodyczną, należałoby wyznaczyć zarówno koszty, jak i przychody

aspektów środowiskowych oraz pozaśrodowiskowych dla cyklu życia odpadów, a więc w zakresie „brama-grób/recykling”. Dla przykładu, w przypadku składowania byłyby to koszty wejść oraz wyjść materiałowo-energetycznych dla procesów zagospodarowania odcieku, spalania osadu ściekowego, transportu wewnętrznego, sortowania odpadów, rekultywacji, uszczelniania oraz drenażu itp. oraz pozostałe koszty o wymiarze pozaśrodowiskowym jak chociażby amortyzacja kwatery, wynagrodzenia pracowników, ogólny zarząd itp. W przypadku recyklingu materiałowego korzyść należałoby obliczyć poprzez odjęcie od skumulowanych przychodów z tytułu wykorzystania surowców wtórnych całkowitych kosztów na ich uzdatnianie, przetwórstwo, magazynowanie, transport itp. Analogicznie dla recyklingu energetycznego, faktyczną korzyść powinno się wyznaczyć jako różnicę wynikającą z zastąpienia konwencjonalnego nośnika energetycznego (np. węgla kamiennego) – nośnikiem alternatywnym (np. energią słoneczną) oraz kosztów środowiskowych z tytułu emisji gazów do powietrza, zagospodarowania odpadów ze spalania. Opisane powyżej podejście pomimo zapewniania dużej spójności metodycznej nie jest jednak zwyczajowo praktykowane ze względu na pracochłonność tego typu analiz oraz konieczność przyjęcia licznych uproszczeń i założeń.

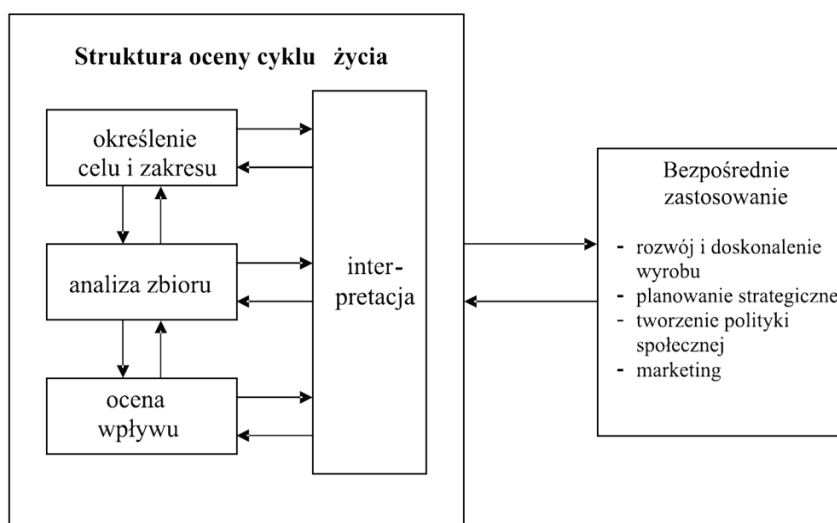
Integrując LCA z LCC należy mieć na uwadze zachowanie zasadniczych cech metodycznych obu technik. W przypadku analizy LCA jest to: orientacja na system wyrobu i dobór jednostki funkcjonalnej oraz uwzględnienie ekologicznej oceny cyklu życia „od kołyski do grobu” (w przypadku zagospodarowania odpadów, czyli pojedynczego etapu cyklu życia jest to zakres brama-grób, lub brama-kołyska). Elementy te można zastosować na gruncie analiz ekonomicznych typu LCC. Główny problem integracji stanowi kwestia dyskontowania. Jest to krok wymagany w procedurze analitycznej LCC, ale i w przypadku analiz LCA zauważa się próby dyskontowania szkód środowiskowych, jest to jednak podejście nie zalecane przez większość specjalistów. Nadrzędnym celem niniejszego opracowania nie jest szacowanie rzeczywistego kosztu poszczególnych form końcowego zagospodarowania odpadów, lecz wyznaczenie pewnej korelacji pomiędzy wymiarem środowiskowym oraz ekonomicznym, dlatego też postanowiono pominąć krok dyskontowania, tym bardziej, iż horyzont czasowy badania jest na tyle odległy, iż trudno byłoby ustalić odpowiednią wartość stopy dyskontowej.

22.5 ZAŁOŻENIA BADAWCZE ORAZ WYNIKI EKOLOGICZNEJ OCENY CYKLU ŻYCIA (LCA) I KOSZTÓW CYKLU ŻYCIA (LCC)

22.5.1 Założenia badawcze do oceny LCA i LCC

Analiza LCA zgodnie z normami ISO 14040, obejmuje cztery następujące po sobie etapy (porównaj rys. 22.2):

1. Określenie celu i zakresu (*Goal and Scope Definition*);
2. Analiza zbioru wejść i wyjść (*LCI – Life Cycle Inventory*);
3. Ocena wpływu cyklu życia (*LCIA – Life Cycle Impact Assessment*);
4. Interpretacja (*Interpretation*) – na tym etapie formułuje się końcowe wnioski zgodnie z założonym na początku celem i zakresem badań.



Rys. 22.2 Fazy oceny cyklu życia

Źródło: [14]

Badaniu poddano cztery modelowe jednorodzinne budynki mieszkalne o powierzchni użytkowej 98,04 m², różniące się strukturą materiałową oraz technologią wykonania (murowany/drewniany) jak i standardem energetycznym (tradycyjny/pasywny). Tak więc były to budynki typu: **murowany tradycyjny, murowany pasywny, drewniany tradycyjny, drewniany pasywny**.

Przedmiotem badania uczyniono odpady generowane podczas głównych etapów cyklu życia budynków zaprezentowanych w normie ISO 21931-1, a więc: (1) *produkcji materiałów budowlanych* (w przypadku budynków drewnianych uwzględniono dodatkowo prefabrykację), (2) *wznoszenia i wykończenia budynków* (zwanego w dalszej części artykułu *budową*), (3) *użytkowania* oraz (4) *dekonstrukcji* (zwaną rozbiórką) [15]. Odpady budowlane powstające po przekazaniu budynku do użytku dotyczą czynności renowacyjnych, wymian oraz remontów dokonywanych w 100-letnim okresie eksploatacji. Ich strumienie wyznaczono przy uwzględnieniu żywotności poszczególnych modułów oraz następujących założeniach [23]:

- wymiana pieca oraz remont łazienki - co 20 lat;
- wymiana okien oraz parapetów - co 25 lat;
- wymiana drzwi - co 30 lat;
- wymiana instalacji grzewczej, elektrycznej, wodno-kanalizacyjnej, wymiana orynnowania, pokrycia dachowego oraz płytek podłogowych - co 50 lat;
- malowanie ścian, sufitu i okien - co 5 lat;
- malowanie drzwi zewnętrznych - co 10 lat;
- malowanie drzwi wewnętrznych - co 15 lat;
- malowanie elewacji, konserwacja elewacji, lakierowanie podłogi - co 25 lat.

W tabeli 22.1 zestawiono, z podziałem na poszczególne etapy cyklu życia budynku i frakcje odpadów, stosowane obecnie praktyki końcowego zagospodarowania odpadów budowlanych: recykling materiałowy oraz energetyczny (spalanie z wytworzeniem energii), utylizację termiczną, składowanie. Przypisanie metody końcowego zagospodarowania do

poszczególnych odpadów budowlanych zostało dokonane na bazie danych polskich uzyskanych z Zakładu Zagospodarowania Odpadów w Poznaniu oraz Zakładu Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej w Zielonej Górze.

Tabela 22.1 Scenariusze zagospodarowania odpadów w poszczególnych etapach cyklu życia budynku

Lp	Etapy cyklu życia budynku	Scenariusz zagospodarowania odpadów	Fracje odpadów
(1)	PRODUKCJA MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH	składowanie	cząstki i pyły żelaza, szlasy z obróbki metali, odpady zmieszane
		spalanie	przepracowany olej mineralny
		recykling z odzyskiem energii	odpady z przetwórstwa tworzyw sztucznych
	PREFABRYKACJA	recykling z odzyskiem energii	drewno nieoczyszczone, odpady stalowe
(2)	BUDOWA	składowanie	spoiwa mineralne, materiały konstrukcyjne, odpady materiałów ceramicznych, zmieszane odpady budowlane
		recykling z odzyskiem energii	drewno nieoczyszczone
		recykling materiałowy	odpady betonu
(3)	UŻYTKOWANIE	składowanie	odpady materiałów ceramicznych, tworzywa sztuczne, materiały izolacyjne, zmieszane odpady remontowe
		recykling z odzyskiem energii	drewno nieoczyszczone, drewno niezanieczyszczone, materiały izolacyjne, guma i inne tworzywa sztuczne, elementy stalowe
		recykling materiałowy	żłom stalowy (N2, N5, W2), żłom aluminiowy, żłom mosiężny, żłom miedziany, szkło, tworzywa sztuczne (PP, PE, PVC, PS), gruz betonowy
(4)	ROZBIÓRKA	składowanie	usunięte tynki i gipsy, materiały ceramiczne, zmieszane odpady rozbiórkowe, piasek z podsypki
		recykling z odzyskiem energii	drewno nieoczyszczone, tworzywa sztuczne, elementy stalowe, materiały izolacyjne
		recykling materiałowy	gruz betonowy z rozbiórki, kruszywa naturalne, żłom stalowy (N2), żłom miedziany, żłom aluminiowy, szkło, tworzywa sztuczne (PVC, PS, PE, PP)

Oceny LCA dla zagospodarowania odpadów budowlanych dokonano przy założeniu warunków technologicznych odpowiadających danym środowiskowym pochodzących ze szwajcarskiej bazy *ecoinvent* [36]. Ze względu na brak szczegółowych danych dotyczących procesów recyklingu materiałowego dla wielu materiałów, w celu wyznaczenia wskaźnika środowiskowego każdorazowo zestawiono dane inwentarzowe dla produkcji danego materiału z surowców pierwotnych z danymi dotyczącymi produkcji tego materiału z surowców wtórnych lub ze zużyciem energii na cele recyklingu. W kontekście recyklingu energetycznego założono korzyść środowiskową związaną z uniknięciem konieczności wyprodukowania równoważnej ilości energii z konwencjonalnego nośnika jakim jest węgiel, którą potraktowano jako uniknięcie produkcji (*avoided produkt*). Ze względu na brak danych

odnośnie odpadów powstających podczas produkcji materiałów budowlanych, ilości oraz rodzaje tych odpadów pobrano z bazy ecoinvent. Rodzaje oraz ilości pozostałych odpadów wyznaczono sporządzając bilans masowy wejść oraz wyjść w systemie wyrobu.

Jak już wcześniej podkreślono, wytypowane do badania budynki różniły się technologią wykonania oraz standardem energetycznym, co zaskutkowało zróżnicowaną strukturą materiałową dla analogicznych modułów domów oraz masą wykorzystanych materiałów budowlanych. Fakt ten przekłada się bezpośrednio na rodzaj oraz ilość generowanych odpadów budowlanych, dlatego warto przyjrzeć się tej kwestii bliżej. Przede wszystkim należy zauważyć, iż materiały budowlane potrzebne do wybudowania budynków murowanych są znacznie cięższe od materiałów potrzebnych do wzniesienia obiektów drewnianych. „Najcięższy” jest budynek pasywny murowany, który jest ponad 1,1 razy cięższy od swojego konwencjonalnego odpowiednika, 1,6 razy cięższy od budynku drewnianego konwencjonalnego i 2,6 razy cięższy od budynku drewnianego w wersji pasywnej [23]. Analizując strukturę materiałową uznano, iż w budynkach murowanych dominuje beton oraz naturalne materiały kamienne, których łączny udział masowy wynosi 83,1% dla budynku murowanego konwencjonalnego oraz 84,1% dla wersji pasywnej. W przypadku budynku murowanego konwencjonalnego największą masą charakteryzują się elementy składowe fundamentu/podłogi wykonanego z podsypki piaskowej oraz betonu (odpowiednio 74119 Mg, oraz 24895,4 Mg). Ten sam moduł okazał się najcięższy w budynku dla wersji pasywnej, z tą różnicą, iż dla tego budynku założono wykorzystanie kruszywa kamiennego (67307,8 Mg) oraz większej ilości betonu (68494,1 Mg).

Kolejnymi materiałami budowlanymi pod względem udziału masowego w budynkach murowanych jest ceramika budowlana oraz mineralne spoiwa budowlane. Na dalszym miejscu plasuje się drewno oraz materiały drewnopochodne. Ich udział masowy kształtuje się na niewielkim poziomie – ok. 2%, co stanowi elementy więźby dachowej (niewiele ponad 4 Mg) [23]. W przypadku domów drewnianych, analogicznie jak we wcześniej analizowanych obiektach, zaobserwowano wysoki udział masowy betonu. Jest to wyraźnie dominujący materiał budowlany budynku pasywnego o udziale masowym ponad 58%, w przypadku domu konwencjonalnego udział masowy betonu kształtuje się na poziomie 39,8%. Co ważne, naturalne materiały kamienne znajdują zastosowanie tylko w budynku konwencjonalnym (68 633,4 Mg, co stanowi 45,5%) i podobnie jak w przypadku budynku murowanego stanowią podsypkę fundamentu. W budynku pasywnym zamiast podsypki założono wykorzystanie szkła spienionego w ilości 11,32 Mg, co powoduje wyraźny udział masowy tej kategorii materiału budowlanego (12,8%). Co oczywiste, w przypadku budynków drewnianych znaczący udział masowy przypisano także materiałom drzewnym, których masa wynosi odpowiednio 13,629 Mg dla budynku konwencjonalnego oraz 18,738 Mg dla pasywnego. Prócz więźby dachowej, obecnej także w budynkach murowanych, pojawia się tu dodatkowo zużycie tych materiałów w dachu (gont łupany), elewacji (deska elewacyjna), podłodze (deska podłogowa), parapetach wewnętrznych oraz ścianach (OSB, MDF, HDF, celuloza) [23]. Konsekwencją takich rozwiązań jest wyraźny spadek udziału ceramiki budowlanej oraz spoiw mineralnych w porównaniu do budynków murowanych, gdzie założono między innymi wykorzystanie podłogowych płytek ceramicznych oraz klinkieru (parapety zewnętrzne).

Przywoływana powyżej struktura materiałowa budynków przekłada się na ilość i rodzaj odpadów generowanych na poszczególnych etapach cyklu życia, czego potwierdzeniem są dane zestawione w poniżej tabeli. Dominującą grupą odpadów w przypadku budynków murowanych jest beton oraz materiały kamienne, których łączna masa wynosi odpowiednio 202,37 Mg dla domu konwencjonalnego (82,87%) oraz 226,4 Mg dla domu pasywnego (83,40%). Warto zaznaczyć, iż podczas rozbiórki domu pasywnego powstaje więcej odpadów z naturalnych materiałów kamiennych, aniżeli w przypadku domu pasywnego, co jest związane z zastąpieniem betonu przez bloczki silikatowe do wzniesienia ścian zewnętrznych oraz wewnętrznych. Pomimo to różnica w masie gruzu betonowego powstałego w wyniku rozbiórki domów nie jest wyraźna (w domu konwencjonalnym wykorzystano znacznie mniej tego materiału podczas budowy fundamentów).

Stosunkowo ważną grupę odpadów rozbiórkowych budynków murowanych stanowią również usunięty tynki oraz gipsy. Ich udział w całkowitej masie odpadów kształtuje się na poziomie 5,06% dla wersji konwencjonalnej oraz 3,5% dla wersji pasywnej budynku murowanego. Na dalszym miejscach plasują się odpady ceramiki budowlanej oraz materiałów drewnianych (odpowiednio około 2% i 1,5%). Kolejne grupy odpadów takie jak: metale, tworzywa sztuczne, szkło itp. stanowią marginalne strumienie odpadów.

Beton oraz materiały kamienne należą także do dominujących odpadów tradycyjnego domu drewnianego, przy czym ich łączna masa jest znacznie niższa aniżeli w przypadku domów murowanych – 128,83 Mg (co stanowi 76% całkowitej masy odpadów budynku drewnianego).

W kolejnym kroku inwentaryzacji danych przypisano poszczególnym grupom odpadów formy końcowego zagospodarowania zgodnie z wcześniejszymi założeniami (porównaj z tabela 22.2). Strumienie odpadów stałych poszczególnych etapów cyklu życia analizowanych budynków z podziałem na scenariusze ich końcowego zagospodarowania przedstawiono w tabeli 22.3.

W przypadku budynków murowanych wykazano dominację recyklingu materiałowego jako scenariusza końcowego zagospodarowania odpadów cyklu życia. Zdecydowanie wyższy udział procentowy odpadów przeznaczonych do recyklingu materiałowego zaobserwowano dla budynku pasywnego, niemal 87%, przy czym dla budynku konwencjonalnego jest to około 55%. Różnice te związane są z zastosowaniem odmiennych elementów składowych fundamentów/podłóg. W przypadku budynku pasywnego jest to beton z kruszywem naturalnym nadającym się do recyklingu materiałowego, w przypadku konwencjonalnego beton z podsypką piaskową, która trafia ostatecznie na kwaterę składowiska. Fakt ten pociąga za sobą również rozbieżności w aspekcie udziału odpadów wymagających składowania. W perspektywie cyklu życia budynku pasywnego udział tych odpadów wynosi 10%, natomiast budynku konwencjonalnego prawie 42%. Udział odpadów przeznaczonych do recyklingu energetycznego jest zbliżony dla obu budynków murowanych i wynosi około 3%.

W przypadku budynku drewnianego konwencjonalnego zauważono dominację odpadów przeznaczonych do składowania (48,41%), analogicznie jak w przypadku odpowiednika murowanego. W stosunku jednak do budynku murowanego wyraźnie wzrósł udział frakcji odpadów przeznaczonych do recyklingu energetycznego, który wynosi 14,20%.

Tabela 22.2 Rodzaje odpadów w poszczególnych etapach cyklu życia analizowanych budynków murowanych i drewnianych

Etapy Cyklu Życia Budynku	Fracje odpadów	Budynek Murowany Tradycyjny		Budynek Murowany Pasywny		Budynek Drewniany Tradycyjny		Budynek Drewniany Pasywny	
		Mg	%	Mg	%	Mg	%	Mg	%
PRODUKCJA MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH	odpady z obróbki metali	0.0122	0.0050	0.012	0.004	0.021	0.012	0.0219	0.0192
	tworzywa sztuczne i odpady z obróbki tworzyw sztucznych	0.0012	0.0005	0.00197	0.0007	0.0019	0.0011	0.0015	0.0013
PREFABRYKACJA	drewno i materiały drewnopochodne (z elementami stali)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.01	0.05	0.04
BUDOWA	beton budowlany	2.71	1.11	4.1	1.51	0.6	0.35	0.53	0.46
	spoiwa mineralne (tynki, gipsy, zaprawa cementowo-wapienna)	0.204	0.08	0.149	0.055	0.013	0.01	0.006	0.005
	materiały konstrukcyjne gipsowo-kartononowe	0.0	0.0	0.0	0.0	0.15	0.09	0.15	0.13
	ceramika budowlana (płytki, klinkier)	0.166	0.07	0.180	0.066	0.04	0.02	0.04	0.04
	drewno i materiały drewnopochodne	0.11	0.04	0.11	0.039	0.32	0.19	0.34	0.30
	odpady zmieszane	0.05	0.02	0.11	0.041	0.03	0.02	0.04	0.04
UZYTEKOWANIE	beton remontowy	8.4	3.44	8.4	3.094	0.0	0.0	0.0	0.0
	ceramika budowlana	6.57	2.69	6.57	2.420	4.18	2.46	4.18	3.67
	drewno i materiały drewnopochodne z elementami stali i tworzyw sztucznych	2.29	0.94	2.3	0.847	9.95	5.85	13.28	11.65
	tworzywa sztuczne	1.91	0.78	3.2	1.179	0.52	0.31	0.58	0.51
	metale	1.29	0.53	1.20	0.442	0.96	0.56	0.91	0.80
	szkło	0.831	0.34	1.3	0.479	0.83	0.49	1.25	1.10
	odpady zmieszane	0.033	0.01	0.07	0.026	0.016	0.01	0.016	0.01
ROZBIÓRKA	beton rozbiórkowy	117.12	47.96	110.8	40.816	59.6	35.06	53.50	46.93
	naturalne materiały kamienne (piasek, kruszywo kamienne)	74.14	30.36	103.10	37.980	68.63	40.37	0.0	0.0
	spoiwa mineralne (usunięte tynki, gipsy)	12.36	5.06	9.52	3.507	1.56	0.92	0.8	0.70
	materiały konstrukcyjne gipsowo-kartononowe	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	2.06	3.5	3.07
	ceramika budowlana wraz z zaprawą cementowo-wapienną	4.9	2.01	4.9	1.805	1.03	0.61	1.03	0.90
	drewno i materiały drewnopochodne z elementami stali i tworzyw sztucznych	4.03	1.65	4.07	1.499	13.5	7.94	18.77	16.47
	tworzywa sztuczne	2.03	0.83	3.7	1.363	0.62	0.36	0.54	0.47
	metale	0.85	0.35	0.62	0.228	0.92	0.54	0.57	0.50
	szkło	0.28	0.11	0.85	0.313	0.28	0.16	11.74	10.30
	odpady zmieszane	3.9	1.60	6.2	2.284	2.7	1.59	2.15	1.89
RAZEM		244.2	100	271.4	100	170	100	114	100

Zródło: opracowanie własne na podstawie [23]

Tabela 22.3 Strumienie odpadów w poszczególnych etapach cyklu życia analizowanych budynków według formy końcowego zagospodarowania

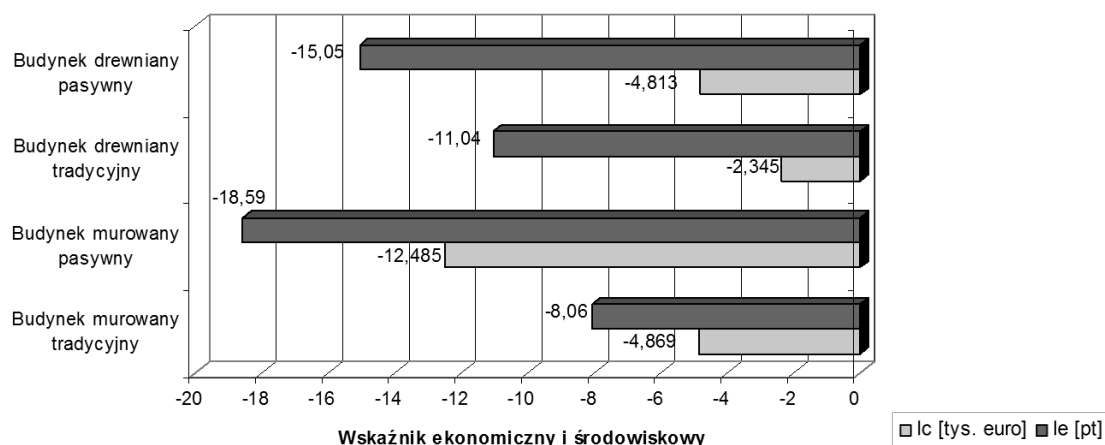
Etapy cyklu życia budynku	Scenariusz zagospodarowania odpadów	Budynek murowany tradycyjny		Budynek murowany Pasywny		Budynek drewniany tradycyjny		Budynek Drewniany pasywny	
		Mg	%	Mg	%	Mg	%	Mg	%
PRODUKCJA MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH	składowanie	0.0128	0.0053	0.0121	0.0045	0.0208	0.0122	0.0216	0.01898
	spalanie	0.0001	0.0001	0.0001	0.0	0.0002	0.0001	0.0002	0.000196
	recykling z odzyskiem energii	0.0005	0.0002	0.0019	0.0007	0.0019	0.0011	0.0015	0.001289
PREFABRYKACJA	recykling z odzyskiem energii	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0065	0.05	0.04
BUDOWA	składowanie	0.42	0.17	0.44	0.16	0.23	0.14	0.24	0.21
	recykling z odzyskiem energii	0.11	0.04	0.11	0.04	0.32	0.19	0.34	0.30
	recykling materiałowy	2.71	1.11	4.10	1.51	0.60	0.35	0.53	0.46
UŻYTKOWANIE	składowanie	6.60	2.70	6.64	2.45	4.19	2.46	4.20	3.68
	recykling z odzyskiem energii	2.46	1.01	2.48	0.91	10.10	5.94	13.48	11.82
	recykling materiałowy	12.26	5.02	13.95	5.14	2.34	1.38	2.32	2.04
ROZBIÓRKA	składowanie	95,16	38.97	20.66	7.61	77.86	45.80	7.45	6.54
	recykling z odzyskiem energii	5.07	2.08	5.64	2.08	13.72	8.07	18.93	16.60
	recykling materiałowy	119.44	48.91	217.36	80.09	61.18	35.99	66.19	58.06
RAZEM		244.20	100	271.40	100	170.00	100	114.00	100

W przypadku budynku drewnianego konwencjonalnego zanotowano również najniższy udział procentowy odpadów nadających się do recyklingu materiałowego (37,72%). Przeciwnieństwo w tym aspekcie stanowi budynek drewniany pasywny, dla którego dominującą formą końcowego zagospodarowania odpadów jest właśnie recykling materiałowy (60,56%). Co więcej, w porównaniu do budynku drewnianego konwencjonalnego zaobserwowano znacznie większy udział odpadów przeznaczonych do recyklingu energetycznego, który wynosi niemal 30%. Wynika to z faktu, iż budynek pasywny cechuje się zwiększonym zużyciem drewna i materiałów drewnopochodnych na podstawowe elementy konstrukcji budowlanej np. więźby dachowej, łat i kontrłat, elewacji, konstrukcji ścian zewnętrznych itp. Udział odpadów podlegających składowaniu jest na poziomie analogicznym jak w przypadku budynku pasywnego murowanego i wynosi ok. 10%.

22.5.2 Oddziaływanie na środowisko i ocena ekonomiczna budynków – wyniki badań

Kolejnym krokiem badania, po zidentyfikowaniu strumieni odpadów poszczególnych etapów cyklu życia było wyznaczenie konsekwencji środowiskowych oraz ekonomicznych wynikających z ich końcowego zagospodarowania. Analiza LCIA została wykonana w programie SimaPro Analyst 7.3 metodą Impact 2002+. Wyniki badań zaprezentowano na najbardziej skumulowanym poziomie, gdzie wielkość oddziaływania na środowisko wyrażona jest wartością ekowskaźnika [Ie] i mierzona w punktach środowiskowych [pt]. Im wyższy dodatni wynik wskaźnika, tym większe negatywne oddziaływanie na środowisko, wartość ujemną natomiast rozumie się jako korzyść środowiskową. Analogiczną interpretację przyjęto dla wymiaru ekonomicznego. Dodatni wskaźnik ekonomiczny [Ic] oznacza koszt, ujemny natomiast przychód i jest on wyrażony w walucie europejskiej [euro] przy uwzględnieniu aktualnego na czas badania kursu walut. Koszty za składowanie oraz termiczną utylizację ustalono na podstawie stawek za przyjęcie odpadu na składowisko lub do spalarni obowiązujących na czas prowadzenia badania (sierpień 2013). Korzyści z tytułu recyklingu materiałowego wyznaczono bazując na aktualnych na czas badania stawkach skupu surowców wtórnych. Dla większości odpadów założono bezpośredni ich skup od właścicieli budynków przez podmioty gospodarcze prowadzące działalność w tym zakresie. Dla odpadów wymagających wcześniejszego demontażu (np. okna, drzwi, piec gazowy) oraz nie będących zwyczajowo skupowanych od indywidualnych kontrahentów (gruz betonowy, izolacja polistyrenowa) założono pośrednictwo punktu selektywnej zbiórki odpadów oraz instalacji przetwarzania odpadów komunalnych. Korzyści z tytułu recyklingu energetycznego utożsamiono ze stawkami oferowanymi stałym kontrahentem przez cementownię za odpady wysokoenergetyczne przeznaczone na paliwo alternatywne (wartość opała co najmniej 17 MJ/kg oraz wilgotność poniżej 30%).

Jak pokazano na rys. 22.3, dla każdego z analizowanych budynków uzyskano ostatecznie ujemne wyniki wskaźników środowiskowych (budynek murowany tradycyjny - 8,06 pt, murowany pasywny -18,59 pt, drewniany tradycyjny -11,04 pt, drewniany pasywny - 15,05 pt).



Rys. 22.3 Porównanie ekonomicznych i ekologicznych skutków zagospodarowania odpadów w cyklu życia badanych budynków mieszkalnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie SimaPro Analyst v.7.3.0

Oznacza to, że z perspektywy całego cyklu w przypadku każdego analizowanego budynku procesy zagospodarowania odpadów generujące korzyść środowiskową (np. recykling) przeważały nad procesami prowadzącymi do negatywnego oddziaływania na środowisko (np. składowanie, utylizacja termiczna). Zestawienie na rys 22.3 pokazuje, iż najwyższe korzyści środowiskowe przypadły na domy pasywne. Najkorzystniejsze wskaźniki przypisane zostały zagospodarowywaniu odpadów w budynku wykonanym w technologii murowanej. Warto podkreślić, iż w cyklu życia tego budynku powstaje najwięcej odpadów (tabela 22.2) a niemal 90% z nich nadaje się do recyklingu materiałowego.

Jak wykazano w tabeli 22.4, to właśnie recykling materiałowy generuje najwyższą korzyść środowiskową w perspektywie całego cyklu życia. Odpowiedzialne za to są w dużej mierze odpady betonu oraz kruszywa naturalne, dla których całkowita wartość ekowskaźnika wynosi -3,58 pt. Najkorzystniejszy wskaźnik dla etapu rozbiórki zanotowano dla recyklingu energetycznego (tabela 22.5), co wynika nie tyle z faktu ilości, co raczej składu morfologicznego odpadów nadających się do tego rodzaju recyklingu. Najwyższą korzyść środowiskową zaobserwowano dla recyklingu energetycznego warstwy izolacyjnej fundamentu wykonanej z polistyrenu ekstrudowanego XPS i wynosi ona - 6,4 pt.

Tabela 22.4 Oddziaływania środowiskowe zagospodarowania odpadów według form końcowego zagospodarowania

Scenariusz zagospodarowania odpadów	Budynek Murowany Tradycyjny [pt]	Budynek Murowany Pasywny [pt]	Budynek Drewniany Tradycyjny [pt]	Budynek Drewniany Pasywny [pt]
składowanie	0.43	0.17	0.34	0.10
spalanie	0.00004	0.00004	0.00007	0.00007
recykling z odzyskiem energii	-2.42	-8.84	-7.83	-10.57
recykling materiałowy	-6.07	-9.92	-3.56	-4.57
RAZEM	-8.06	-18.59	-11.04	-15.05

Zródło: opracowanie własne na podstawie SimaPro Analyst v.7.3.0

Na drugim miejscu pod względem korzyści środowiskowych procesów zagospodarowania odpadów uplasował się dom drewniany pasywny. Dla kontrastu, w jego cyklu życia powstaje ilościowo najmniej odpadów, jednak ich skład morfologiczny gwarantuje przewagę w kontekście korzyści środowiskowych nad budynkami tradycyjnymi wykonanymi w technologii murowanej oraz drewnianej. Na fakt ten zasadniczo wpływają dwie, wspomniane już wcześniej kwestie, a mianowicie różnica w ilości odpadów wymagających składowania oraz nadających się do recyklingu energetycznego.

W perspektywie cyklu życia budynku drewnianego pasywnego największą korzyść środowiskową przypisano recyklingowi energetycznemu (tabela 22.5), pomimo, iż nie stanowi ona dominującej formy końcowego zagospodarowania. Najwyższy wskaźnik zanotowano dla rozbiórkowych odpadów drewna i materiałów drewnopochodnych, który wynosi ok. -5,91 pt. Analogicznie w tym względzie przedstawia się sytuacja w przypadku drugiego z budynków drewnianych. Recykling energetyczny tych odpadów generuje korzyść na poziomie -4,24 pt, a różnica ta wynika z ilości wykorzystanego drewna i materiałów drewnopochodnych.

Tabela 22.5 Oddziaływania środowiskowe zagospodarowania odpadów według form końcowego zagospodarowania

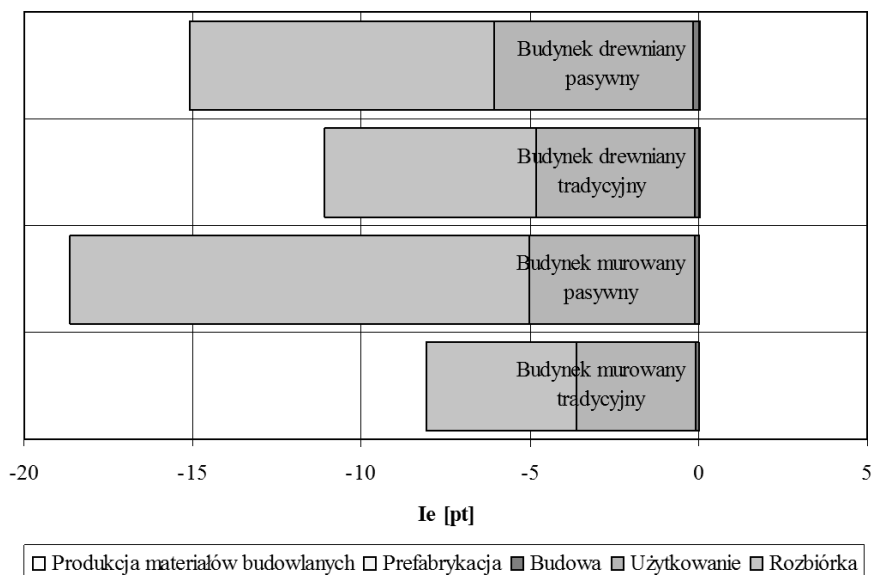
Scenariusz zagospodarowania odpadów	Budynek Murowany Tradycyjny [euro]	Budynek Murowany Pasywny [euro]	Budynek Drewniany Tradycyjny [euro]	Budynek Drewniany Pasywny [euro]
składowanie	3537.24	1187.88	2696.76	513.44
spalanie	0.07	0.07	0.11	0.11
recykling z odzyskiem energii	-206.26	-231.26	-583.90	-792.26
recykling materiałowy	-8200.08	-13441.59	-4457.90	-4534.09
RAZEM	-4869	-12485	-2345	-4815

Najniższą korzyścią środowiskową z tytułu zagospodarowania odpadów cechuje się budynek stanowiący wersję najbardziej tradycyjną, czyli konwencjonalny wykonany w technologii murowanej. Budynek ten cechuje się największą ilością odpadów porozbiórkowych wymagających składowania, co przekłada się na najwyższą, wśród analizowanych budynków, wartość ekowskaźnika dla tej formy. W stosunku do budynków drewnianych zanotowano większą wartość dla recyklingu materiałowego, co zapewne związane jest z większą ilością odpadów przeznaczonych tej formie (beton, tworzywa sztuczne, metale), jednak dysproporcja w porównaniu do recyklingu energetycznego jest na tyle duża, iż plasuje budynek tradycyjny murowany na ostatniej pozycji.

Rys. 22.3 dostarcza cennych informacji na temat zależności wymiaru środowiskowego oraz ekonomicznego. Pierwszy zasadniczy wniosek jest taki, iż podobnie jak w przypadku analizy środowiskowej, dla każdego z rozważanych budynków uzyskano ujemne wyniki wskaźnika kosztowego, co oznacza, że z perspektywy całego cyklu życia procesy zagospodarowania odpadów generujące korzyść ekonomiczną dominowały nad procesami prowadzącymi do powstania kosztów. Wykazano, iż dla każdego z analizowanych budynków największe korzyści ekonomiczne generowane są przez recykling materiałowy (tabela 22.5), co w kontekście budynków drewnianych nie jest spójne z wcześniej prezentowanymi wskaźnikami. Co więcej, tylko dla budynku murowanego pasywnego zanotowano korelację analizowanych wskaźników, tzw. obiekt ten generuje najwyższą korzyść środowiskową jak i najwyższe korzyści ekonomiczne z tytułu zagospodarowania odpadów. Wskutek korzyści z tytułu recyklingu materiałowego na drugim miejscu pod względem parametru ekonomicznego plasuje się budynek murowany konwencjonalny, a jak wcześniej przedstawiono, korzyści z tytułu zagospodarowania odpadów jego cyklu życia są najniższe. Budynek drewniany pasywny, który pod względem ekonomicznego wymiaru zagospodarowania odpadów niewiele różni się od budynku murowanego tradycyjnego, generuje znacznie wyższą korzyść środowiskową w tym aspekcie. Powodem takiego stanu rzeczy jest najprawdopodobniej dysproporcja w funkcjonujących parametrach środowiskowych oraz finansowanych dla recyklingu energetycznego. Potwierdzają to także wyniki otrzymane dla budynku drewnianego konwencjonalnego. Budynekowi temu przypisano wyraźnie najniższy wskaźnik ekonomiczny zagospodarowania odpadów przy czym korzyść środowiskowa z tego tytułu wcale nie jest najniższa. Co więcej, dla tego właśnie budynku zaobserwowano najsilniejsze

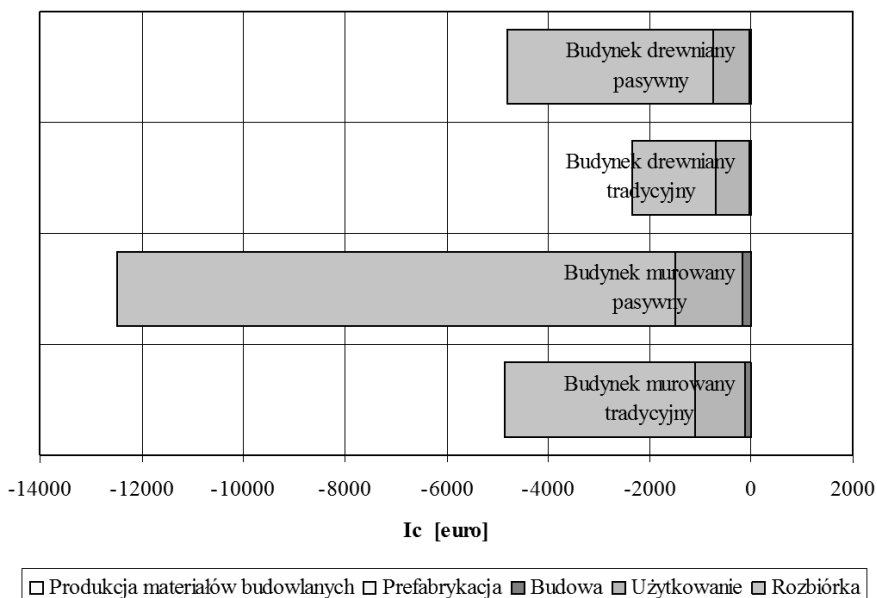
dysproporcje pomiędzy analizowanymi wskaźnikami.

Jedyną korelację wskaźników środowiskowych oraz ekonomicznych zauważono w kontekście etapów cyklu życia. Zarówno z jednego jak i drugiego punktu widzenia, najwyższe ich wartości zanotowano dla rozbiórki, co należy wytłumaczyć, iż wówczas powstają największe strumienie odpadów (rys. 22.4 i 22.5). Porównując poniże wykresy warto także zauważyć, iż w kontekście wskaźnika ekonomicznego (Ic) rysują się wyraźniejsze dysproporcje pomiędzy poszczególnymi budynkami oraz konkretnymi etapami ich cyklu życia.



Rys. 22.4 Oddziaływania środowiskowe zagospodarowania odpadów w poszczególnych etapach cyklu życia badanych budynków mieszkalnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie SimaPro Analyst v.7.3.0



Rys. 22.5 Wskaźnik ekonomiczny zagospodarowania odpadów w poszczególnych etapach cyklu życia badanych budynków mieszkalnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie SimaPro Analyst v.7.3.0

W świetle powyższych wyników warto przyrzeć się bliżej zależnościom wskaźników środowiskowych oraz ekonomicznych, które zostały szczegółowo zestawione w tabeli 22.6.

Tabela 22.6 Ekonomiczne i ekologiczne skutki zagospodarowania odpadów budowlanych

Etapy Cyklu Życia Budynku	Scenariusz Zagospodarowania Odpadów	Budynek Murowany Tradycyjny		Budynek Murowany Pasywny		Budynek Drewniany Tradycyjny		Budynek Drewniany Pasywny	
		Ic [euro]	Ie [pt]	Ic [euro]	Ie [pt]	Ic [euro]	Ie [pt]	Ic [euro]	Ie [pt]
PRODUKCJA MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH	składowanie	0.92	0.02248	0.88	0.02245	1.50	0.03800	1.57	0.04200
	spalanie	0.07	0.00004	0.07	0.00004	0.11	0.00007	0.11	0.00007
	recykling z odzyskiem energii	-0.02	-0.00039	-0.08	-0.00163	-0.08	-0.00162	-0.06	-0.00162
PREFABRYKACJA	recykling z odzyskiem energii	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.26	-0.00300	-1.19	-0.00890
BUDOWA	składowanie	14.80	0.0020	15.74	0.0025	8.01	0.0013	8.39	0.0014
	recykling z odzyskiem energii	-2.62	-0.0350	-2.62	-0.0350	-7.62	-0.0978	-12.38	-0.1378
	recykling materiałowy	-128.85	-0.0483	-195.24	-0.0729	-28.57	-0.0105	-25.27	-0.0098
UŻYTKOWANIE	składowanie	247.86	0.0213	249.24	0.0216	157.55	0.0132	157.62	0.0132
	recykling z odzyskiem energii	-61.86	-0.8844	-62.72	-1.0344	-244.63	-3.2990	-324.77	-4.4690
	recykling materiałowy	-1167.86	-2.6600	-1511.43	-3.9100	-571.43	-1.4400	-551.90	-1.4700
ROZBIÓRKA	składowanie	3273.66	0.3851	922.02	0.1197	2529.69	0.2918	345.86	0.0400
	recykling z odzyskiem energii	-141.76	-1.5000	-165.84	-7.7664	-331.30	-4.4309	-453.86	-5.9538
	recykling materiałowy	-6903.37	-3.3651	-11734.92	-5.9388	-3857.90	-2.1051	-3956.91	-3.0952
RAZEM		-4 869	-8.06	-12 485	-18.59	-2 345	-11.04	-4 813	-15.05

Zródło: opracowanie własne na podstawie SimaPro Analyst v.7.3.0

Rozpatrując plac budowy należy uznać, iż dla budynków murowanych, największą korzyść zarówno w aspekcie ekonomicznym jak i środowiskowym zanotowano dla recyklingu materiałowego. Do tej formy końcowego zagospodarowania zaliczono główny strumień odpadów powstających podczas budowy, a mianowicie beton, dla którego założono dalsze wykorzystanie jako podbudowa dróg. Podobna tendencja utrzymuje się w kontekście odpadów remontowych. W przypadku budynku konwencjonalnego murowanego najwyższą korzyść zarówno ekonomiczną jak i środowiskową przypisano odpadom metalowym pomimo, iż wagowo odpady betonu oraz tworzyw sztucznych stanowią liczniejszą frakcję

nadającą się do recyklingu materiałowego. W przypadku budynku murowanego pasywnego pod względem środowiskowym oraz ekonomicznym dominuje recykling materiałowy tworzyw sztucznych. Rozpatrując końcowe zagospodarowanie odpadów porozbiórkowych budynku murowanego konwencjonalnego uznano, iż analogicznie jak w przypadku budowy, pod każdym względem dominuje odzysk materiałowy odpadów gruzu betonowego. W przeciwieństwie do budynku pasywnego, gdzie uwidacznia się rozbieżność analizowanych wskaźników, czego powodem jest wysoka korzyść środowiska płynąca z recyklingu energetycznego warstwy izolacyjnej fundamentu, przy stosunkowo niewielkich korzyściach ekonomicznych.

Podobne dysproporcje zanotowano dla budynków drewnianych. W kontekście odpadów etapu budowy oraz rozbiórki najwyższą korzyść ekonomiczną wykazano dla recyklingu materiałowego, pod względem środowiskowym jednak zdecydowanie wyższą korzyść zanotowano dla recyklingu energetycznego. Różnice te spowodowane są tym, iż pod względem ilościowym główną frakcją odpadów zarówno budowlanych jak i rozbiórkowych jest gruz betonowy, którego recykling materiałowy generuje znacznie mniejszą korzyść środowiskową aniżeli recykling energetyczny drugiej, co do ilości grupy odpadów, a mianowicie drewna i materiałów drewnopochodnych (pod względem środowiskowym dla równoważnej ilości odpadów jest to różnica niemal 20-krotna). Pod względem ekonomicznym sytuacja przedstawia się odmiennie, gdyż cena skupu 1 Mg betonu jest 2-krotnie większa aniżeli stawka za odpad drewniany służący jako paliwo alternatywne.

Bardzo podobne relacje odnośnie wskaźnika ekologicznego a ekonomicznego utrzymują się w aspekcie odpadów remontowych. Na etapie użytkowania zdecydowanie najliczniejszą grupę odpadów stanowią materiały drewniane i drewnopochodne pochodzące z wymian i remontów podstawowych elementów konstrukcji budowlanej. Potwierdza to tezę, iż wymiar ekologiczny a ekonomiczny końcowego zagospodarowania odpadów, nie jest skutecznie skorelowany. Za przykład mogą także posłużyć tworzywa sztuczne. Recykling materiałowy polietylenu (PE) generuje 1,46 razy większą korzyść środowiskową aniżeli recykling energetyczny, jednak stawka za jego skup jest niemal 3-krotnie większa w stosunku do stawek oferowanych przez cementownie.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazują, iż recykling analizowanych frakcji odpadów budowlanych, jako forma ich końcowego zagospodarowania, przynoszą korzyści o wymiarze zarówno ekologicznym jak i ekonomicznym. Mechanizm powstawania korzyści jest jednak odmienny, gdyż w przypadku korzyści ekologicznych zależy on w dużej mierze od stosowanych rozwiązań technologicznych w tym zakresie, natomiast w przypadku korzyści ekonomicznych rolę zasadniczą odgrywa sytuacja na rynku odzysku surowców wtórnych. Wspólnym mianownikiem wydaje się być szeroko sygnalizowany problem wyczerpywania się nieodnawialnych zasobów naturalnych. Zjawisko to powoduje, iż odzysk i recykling odpadów staje się koniecznością zarówno ze względów ekologicznych jak i ekonomicznych. Niedopasowanie jednak stawek za skup odpadów budowlanych przeznaczonych do odzysku z wymiarem korzyści środowiskowych, które zaprezentowano w wynikach LCA, powoduje duże rozbieżności osiągniętych wskaźników. Najwyższą korzyść z tytułu zagospodarowania

odpadów wykazał budynek o największym strumieniu odpadów (budynek murowany pasywny), jednak jest to ewidentnie związane z masą i rodzajem odpadów przeznaczonych do odzysku materiałowego. Z analogicznych powodów tylko dla tego budynku wykazano współzależność wskaźnika ekologicznego oraz ekonomicznego. Dla pozostałych budynków nie wykazano korelacji pomiędzy ilością odpadów a wskaźnikiem środowiskowym wynikającym z ich zagospodarowania oraz pomiędzy wskaźnikiem środowiskowym a ekonomicznym.

Należy podkreślić, iż budynki oraz ich cykl życia są szczególnie złożonymi obiektami badawczymi dla oceny LCA i e-LCC, a wyniki badań, zwłaszcza odnoszące się do etapów użytkowania i rozbiórki, obarczone są wysoką niepewnością, która wynika zarówno z kwestii technologicznych, ekonomicznych jak i prawnych. W kraju ciągle brakuje sprawnie funkcjonującego systemu gospodarowania odpadami budowlanymi, choć i tak jest on bardziej efektywny niż gospodarka odpadami komunalnymi. Nowo wprowadzone zmiany ustawowe [30, 31] mają na celu zwiększenie efektywności wykorzystania odpadów jako potencjalnych surowców z recyklingu, dzięki czemu w większym zakresie realizowana będzie polityka zrównoważonego rozwoju. Korelacja technik typu LCA i e-LCC, na przykładzie czterech wybranych budynków, wykazały wprawdzie, iż recykling stanowi korzyść środowiskową, jednak w krajowych realiach na wyraźne efekty ekonomiczne trzeba będzie jeszcze poczekać. Korzyść ekonomiczna w dużej mierze jest uzależniona od regionu, gdyż w zależności od gminy, przyjęte rozwiązania gospodarowania odpadami są różne (kilka sposobów naliczania opłaty) i ceny surowców wtórnych są również różne (uzależnione od: kosztów transportu - odległości przewozu odpadów do punktu skupu lub na składowisko, od typu instalacji do zagospodarowania odpadów, wprowadzenia ulg albo dopłat do odpadów).

LITERATURA

1. Abraham D., Dickinson R., *Disposal Costs for Environmentally Regulated Facilities: LCC Approach*; Journal of Construction Engineering and Management; 124(2); 1998; s. 146–154.
2. Adamczyk J., *Recykling odpadów budowlanych niebezpiecznych źródłem surowców w sektorze budownictwa*, [w:] Kulczycka J., Pietrzyk-Sokulska E., Wirth H. (red.): *Zrównoważona produkcja i konsumpcja surowców mineralnych*, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2011, s. 88-96.
3. Adamczyk J., Dylewski R., *Recykling odpadów budowlanych w kontekście budownictwa zrównoważonego*, Problemy Ekorozwoju: studia filozoficzno-socjologiczne, Vol. 5, No. 2, 2010; s. 125-131.
4. Adamczyk J., Dylewski R., *Analiza gospodarki odpadami budowlanymi w województwie lubuskim*; Oficyna Wyd. Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2012; s. 33-36.
5. ATON, *Dane technologiczne firmy ATON HT S.A.*; <http://aton.com.pl>; (data dostępu; 02.06.2013).
6. Blengini G.A., Carlo T.D., *Energy-saving policies and low-energy residential buildings: an LCA case study to support decision makers*; International Journal of Life Cycle Assessment; 15 (7); 2010; s. 652–665.

7. Bribián I.Z., Capilla A.V., Usón A. A., *Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential*; Building and Environment, 46, 2011; s. 1133-1140.
8. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy; (Dz. Urz. 2008, L 312/3).
9. Eriksson O., Reich M.C., Frostell B., Bjorklund A., Assefa G., Sundqvist J.O., Granath J., Baky A., Thyselius L., *Municipal solid waste management from a systems perspective*; Journal of Cleaner Production 13; 2005; s. 241–252.
10. Erlandsson M., Borg M., *Generic LCA- methodology applicable for buildings, constructions and operation services – today practice and development needs*; Building and Environment, 38, 2003; s. 919-938.
11. Feist W., *Podstawy budownictwa pasywnego*, Polski Instytut Budownictwa Pasywnego, Warszawa 2007.
12. Gluch P., Baumann H., *The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision making*; Building and Environment 39; 2004; s. 571-580.
13. Górzyński J., *Podstawy analizy środowiskowej wyrobów i obiektów*, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
14. ISO 14040:2006, Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework, International Organisation for Standardisation (ISO), Geneva.
15. ISO 21931-1:2010, Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works - Part 1: Buildings, International Organisation for Standardisation (ISO), Geneva.
16. Kofoworola O.F., Gheewala S.H., *Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand*; International Journal of Life Cycle Assessment; 13 (6); 2008; s. 498–511.
17. Komunikat Komisji do Rady, Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego oraz Komitetu Regionów, *Inicjatywa rynków pionierskich dla Europy*, COM (2007) 860 wersja ostateczna; <http://www.zb.itb.pl/files/zb/dokumenty/lmi.pdf>; (data dostępu: 10.02.2014).
18. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady, Rozwiązanie problemu dotyczącego niedoboru wody i susz w Unii Europejskiej, COM (2007) 414 wersja ostateczna; <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0414:FIN:PL:PDF>; (data dostępu: 10.02.2014).
19. Kowalak R. (red.), *Rachunek kosztów cyklu życia produktu w przedsiębiorstwie*, Wyd. UE we Wrocławiu; Wrocław 2009.
20. Kulczycka J., *Ekoefektywność projektów inwestycyjnych z wykorzystaniem koncepcji cyklu życia produktu*; Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2011.
21. Langdon D., *Towards a Common European Methodology for Life Cycle Costing (LCC)*, 2007; http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/files/compet/life_cycle_costing/literat_review_en.pdf; (data dostępu: 10.08.2013).

22. Lewandowska A., Kurczewski P., Kulczycka J., Joachimiak K., Matuszak-Flejszman A., Baumann H., Ciroth A., *LCA As An Element In Environmental Management Systems - Comparison Of Conditions In Selected Organisations In Poland, Sweden And Germany Part 1: Background And Initial Assumptions*; International Journal of Life Cycle Assessment No. 2, 2013; s. 472-480.
23. Lewandowska A., Noskowiak A., Pajchrowski G., Strykowski W., Witczak A., *Środowiskowa ocena cyklu życia modelowych budynków drewnianych i murowanych jako przykład zastosowania techniki LCA*, Wyd. ITD, Poznań 2012.
24. Ortiz-Rodríguez O., Castells F., Sonnemann G., *Life cycle assessment of two dwellings: One in Spain, a developed country, and one in Colombia, a country under development*; Science of the Total Environment; 408; 2010; s. 2435–2443.
25. Peupartier BLP., *Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context*; Energy and Buildings; 33 (5); 2001; s. 443–450.
26. Reich M. C., *Economic assessment of municipal waste management systems-case studies using a combination of life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC)*; Journal of Cleaner Production, No 13, 2005; s. 253-263.
27. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów, (Dz. U. 2001, Nr 112, poz. 1206).
28. Soares S.R., Finotti A.R., da Silva V.P., Alvarenga R., *Applications of life cycle assessment and cost analysis in health care waste*; Management Waste Management 33; 2013; s. 175–183.
29. Swarr T.E., Hunkeler D., Klopffer W., Pesonen H-L., Ciroth A., Brent A.C., Pagan R., *Environmental Life Cycle Costing: A Code of Practice*, SETAC; New York 2011, USA.
30. Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. (Dz. U. 2013, nr 0, poz. 21).
31. Ustawa o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz. U. 2011, nr 152, poz. 897; Dz. U. 2013, nr 0, poz. 228).
32. Wierzbicki S. M., Gajownik R., Problemy zrównoważonego budownictwa w pracach Instytutu Techniki Budowlanej [w:] „*Budownictwo spełniające wymagania zrównoważonego rozwoju*”, Konferencja Naukowo-Techniczna ITB, Mrągowo 2002, s. 34-42.
33. http://www.argox.com.pl/budownictwo_zrownowazone.php; (data dostępu: 10.02.2014).
34. <http://www.burbaproject.net/>; (data dostępu: 10.02.2014).
35. <http://www.zb.itb.pl/publikacje> ; (data dostępu: 10.02.2014).
36. www.ecoinvent.ch; (data dostępu: 10.09.2013).

EKONOMICZNE I EKOLOGICZNE SKUTKI ZAGOSPODAROWANIA ODPADÓW BUDOWLANYCH W KONTEKŚCIE ROZWOJU ZRÓWNOWAŻONEGO

Streszczenie: Scalenie techniki rachunku kosztów cyklu życia (LCC – Life Cycle Costing) i ekologicznej oceny cyklu życia (LCA – Life Cycle Assessment) umożliwia wyznaczenie wskaźników określających poziom oddziaływania ekonomicznego i ekologicznego całego cyklu lub wybranych etapów cyklu życia budynków mieszkalnych. W artykule przedstawiono procesy zagospodarowania odpadów czterech budynków mieszkalnych, różniących się od siebie technologią wykonania oraz spełnianym standardem energetycznym. Za główny cel badania wybrano powiązanie struktury materiałowej budynków, ilości powstających odpadów, oddziaływań środowiskowych generowanych przez powstające strumienie odpadów oraz kosztów i przychodów z tytułu ich końcowego zagospodarowania.

Słowa kluczowe: zrównoważony rozwój, ocena cyklu życia, cykl życia budynku, odpady budowlane, koszty i korzyści.

ECONOMIC AND ECOLOGICAL EFFECTS OF BUILDING WASTE MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Abstract: Merging technology life cycle costing (LCC) and ecological of life cycle assessment (LCA) allows to determine the indicators of the level of economic and environmental impact of the whole cycle, or of selected stages of the life cycle residential buildings. The article presents the processes waste four residential buildings, differing technology performance and meet energy standard. The main objective of the study was chosen linking structure of materials of buildings, the amount of waste, the environmental impacts generated by the waste streams – standing up and the costs and revenues from their end of managing the.

Keywords: sustainable development, life cycle assessment, life cycle of buildings, construction waste, costs and benefits.

dr inż. Joanna ZARĘBSKA
Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Ekonomii i Zarządzania
ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra
tel.: +4868 328 22 89, e-mail: j.zarebska@wez.uz.zgora.pl

mgr inż. Katarzyna JOACHIMIAK-LECHMAN
Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu
Wydział Towaroznawstwa
al. Niepodległości 10, 61-875 Poznań
tel.: + 4861 854 31 21, e-mail: katarzyna.joachimiaak-lechman@ue.poznan.pl