

# Drewno jako przyjazny dla środowiska materiał budowlany

dr inż. Andrzej Noskowiak, dr inż. Grzegorz Pajchrowski, Sieć Badawcza Łukasiewicz, Instytut Technologii Drewna, dr hab. inż. Anna Lewandowska, prof. uczelni, Katedra Zarządzania Jakością, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

## 1. Wprowadzenie

W wielu państwach świata, mimo utrwalonych tradycji budowania z materiałów mineralnych, i metali, widoczne jest rosnące zainteresowanie drewnem i materiałami drewno-pochodnymi.

Od szeregu lat docierają do naszego kraju informacje o kolejnych rekordowo wysokich budynkach wznoszonych z drewna. Możliwości wykorzystania drewna w budownictwie są różnorodne. Jednym z ważniejszych kierunków jest produkcja lekkich i wytrzymałych elementów konstrukcyjnych określanych ogólnym terminem: drewno inżynierskie. Coraz częściej w krajobrazie polskich miast i miasteczek można dostrzec rozległe zespoły wyrobów drewnianej stolarki okiennej. Drewniane elewacje stały się w ostatnich latach widocznym przejawem wzrostu popularności stosowania drewna w budownictwie. Szczególne walory estetyczne i techniczne drewna sprzyjają utrwaleniu dominacji tego materiału w konstrukcjach dachowych, produkcji podłóg i tarasów. Coraz większa grupa architektów wewnątrz sięga po drewno jako atrakcyjne tworzywo do produkcji wyrobów stolarki wewnętrznej i mebli. Projektanci pływalni, hal sportowych, hal widowiskowych, kościołów, hoteli, zajazdów śmiało sięgają po konstrukcyjne drewno klejone warstwowo. Wzrasta popularność prefabrykacji drewnianych konstrukcji dachowych, ścian, stropów i niemal gotowych do zamieszkania całych pomieszczeń. Dzięki temu z coraz większej liczby, coraz większych wytwórni, gotowe ściany, stropy i dachy wyjeżdżają na place budów. Taka technologia budowania znacznie skraca koszty i czas realizacji nowych obiektów. Stosowanie w budownictwie drewna jako materiału naturalnego i odnawialnego najczęściej uznaje się jako przyjazne dla środowiska. Jednak wraz ze wzrostem popularności tego rodzaju budownictwa coraz częściej można spotkać się z opinią, że rozwój budownictwa drewnianego jest zagrożeniem dla lasów.

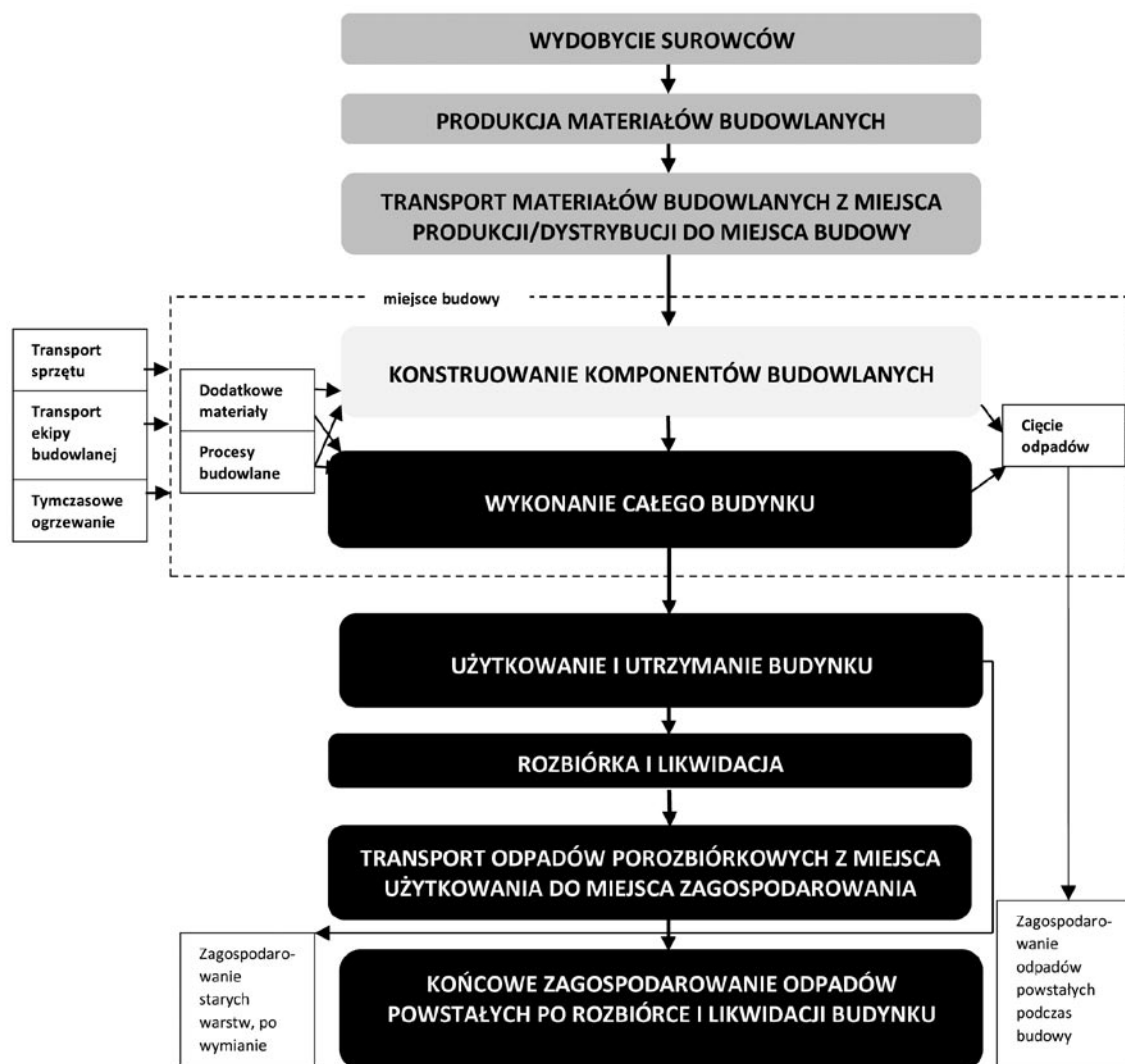
Zwolennicy stosowania drewna w budownictwie wskazują na to, że:

- jest jednocześnie lekkie i wytrzymałe mechanicznie,
- ma korzystny współczynnik przewodności cieplnej,
- jest ciepłe w dotyku,
- nie zmienia wymiarów przy zmianach temperatury,

- dobrze tłumi hałas,
- jest odporne na działanie większości znanych czynników chemicznych,
- zanim podda się siłom niszczącym „ostrzeża”, nadmiernie obciążone elementy, trzeszcząc, daje czas na ewakuację,
- w warunkach nadmiaru wilgoci w otoczeniu wchłania ją, a gdy robi się zbyt sucho, to ją oddaje, korzystnie wpływając na mikroklimat pomieszczeń,
- odpowiednio użyte jest trwałe i odporne na działania destrukcyjnych czynników biologicznych,
- wykazuje korzystny, na tle innych materiałów budowlanych, bilans węglowy oraz indeks energii wbudowanej (ang. *embodied energy index*),
- łatwo daje się obrabiać mechanicznie oraz można je modyfikować, a także względnie łatwo i tanio przekształcać je w inne, użyteczne materiały konstrukcyjne, izolacyjne bądź wykończeniowe,
- choć jest materiałem palnym, w odpowiednio zaprojektowanych i wykonanych obiektach zapewnia wymagane bezpieczeństwo pożarowe.

## 2. Środowiskowa ocena cyklu życia LCA (Live Cycle Assessment)

Współczesność oczekuje innowacji w każdej dziedzinie działalności człowieka. Z uwagi na rosnące niepokoje, związane z ocieplaniem się klimatu, do najbardziej oczekiwanych innowacji należą ekoinnowacje. Ekoinnowacja to każda innowacja w zakresie technologii, produktu, procesu lub usługi, która może przyczynić się do ochrony środowiska lub wydajniejszego wykorzystania zasobów. Cechą charakterystyczną dla ekoinnowacji jest efekt prośrodowiskowy, rozumiany jako zmniejszanie negatywnej presji człowieka na środowisko. W tym kontekście szczególnego znaczenia nabierają narzędzia, które pozwalają na kompleksowe i możliwie obiektywne zbadanie procesów i produktów pod kątem ich oddziaływania na środowisko. Jednym z najbardziej zaawansowanych i powszechnie stosowanych jest środowiskowa ocena cyklu życia, zwana w skrócie LCA. Używając obrazowego porównania, można powiedzieć, że LCA działa jak „zdjęcie rentgenowskie”, analizując całe cykle życia produktów oraz procesów i identyfikując ich słabe punkty



Rys. 1. Schemat struktury życia budynku [1]

(rozumiane jako miejsca tworzenia największego negatywnego wpływu na środowisko).

LCA od wielu lat stosowane jest także w budownictwie i służy doskonaleniu środowiskowemu nie tylko samych materiałów budowlanych, ale całych budynków i procesów budowlanych. Z punktu widzenia wykonywania analiz LCA obiekty budowlane stanowią specyficzne przedmioty badań, co powoduje, że przeprowadzenie dla nich analiz LCA jest trudniejsze, aniżeli dla większości wyrobów konsumenckich. Biorąc pod uwagę perspektywę całego cyklu życia i konieczność uwzględniania oddziaływań występujących na poszczególnych jego etapach, obiekty budowlane charakteryzują się:

- długimi okresami eksploatacyjnymi;
- wielofunkcyjnością;
- wysoką złożonością konstrukcyjną i kompleksowością materiałową;
- unikatowością;
- silnym uwarunkowaniem lokalnym;
- różnorodnością zainteresowanych stron.





Badania LCA dla budownictwa mogą być realizowane w różnych zakresach i mogą dotyczyć:

- **samych materiałów budowlanych BM** (ang. *Building Materials*),
- **kombinacji komponentów CC** (ang. *Component Combination*),
- **całego obiektu budowlanego i procesu jego budowy WPC** (ang. *Whole Process of the Construction*).

Najbardziej złożonym cyklem życia charakteryzują się całe obiekty budowlane (WPC), bowiem dochodzi tu do bezpośredniego powiązania z cyklami życia materiałów budowlanych i komponentów oraz zagospodarowaniem odpadów porozbiórkowych. Dodatkowymi etapami są: budowa całego obiektu (składającego się z poszczególnych modułów i materiałów) w miejscu budowy, szeroko pojęte użytkowanie i utrzymanie obiektu oraz rozbiórka i jego likwidacja. Strukturę cyklu życia dla budynków zaprezentowano na rysunku 1.

Ponieważ drewno po latach zaniechania stanowi ponownie coraz ważniejszy surowiec w branży budowlanej, interesująca

**Tabela 1.** Warianty analizowanych domów modelowych [1]

Wizualizacja	Wariant domu modelowego
	<p><b>A1:</b> dom w technologii murowanej o standardowym wskaźniku zużycia energii (123 kWh/m<sup>2</sup>rok)</p>
	<p><b>A2:</b> dom w technologii murowanej, pasywny o wskaźniku zużycia energii (15 kWh/m<sup>2</sup>rok)</p>
	<p><b>B1:</b> dom w technologii szkieletu drewnianego o standardowym wskaźniku zużycia energii (116 kWh/m<sup>2</sup>rok)</p>
	<p><b>B2:</b> dom w technologii szkieletu drewnianego, pasywny o wskaźniku zużycia energii (15 kWh/m<sup>2</sup>rok)</p>

jest jego ocena w kontekście całych cykli życia budynków pełniących identyczne funkcje, lecz wznoszonych w innych technologiach. W artykule przedstawiono oddziaływanie na środowisko cyklu życia, czterech wariantów modelowego jednorodzinnego budynku mieszkalnego parterowego o powierzchni użytkowej 98,04 m<sup>2</sup> i następującym programie funkcyjnym: sień wejściowa (hol), wc, pokój dzienny z aneksem jadalnym, kuchnia, sypialnia 2-osobowa, dwa pokoje 1-osobowe, łazienka oraz pralnia (tabela 1):

- A1 wariant budynku – murowany konwencjonalny,
- A2 wariant budynku – murowany pasywny,
- B1 wariant budynku – drewniany konwencjonalny,
- B2 wariant budynku – drewniany pasywny.

Budynki mieszkalne pełnią różnorakie funkcje, do których zaliczyć można: użytkową, osłonową, higieniczną, estetyczną oraz konstrukcyjną. W ramach realizowanych badań przyjęto za główne funkcje mieszkalną oraz osłonową i na tej podstawie zdefiniowano jednostkę funkcjonalną badań jako: zapewnienie 98,04 m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej mieszkalnej zdanej do użytkowania w okresie 100 lat i zapewnienie w tym czasie użytkownikom oraz przedmiotom ochrony

przed szkodliwym działaniem czynników zewnętrznych. Układ konstrukcyjny i sposób posadowienia analizowanych budynków przedstawiono w tabeli 2.

Dla każdego wariantu budynku zebrano dane inwentarzowe dotyczące zużycia materiałów, energii, wody oraz emisyjności w zakresie procesów zachodzących na poszczególnych etapach: produkcji i transportu materiałów budowlanych, prefabrykacji modułów i wznoszenia budynku na placu budowy, użytkowania (wymiany i remonty, konserwacje, ogrzewanie, użytkowanie urządzeń, oświetlenie, przygotowanie ciepłej wody użytkowej, zużycie wody i zagospodarowanie ścieków, odpady), rozbiórka, transportów odpadów porozbiórkowych, końcowe zagospodarowanie odpadów.

### 3. Przeprowadzone analizy i ich wyniki

Dzięki analizie LCA uzyskano wyniki liczbowe obrazujące wielkość potencjalnego oddziaływania na środowisko generowanego przez poszczególne etapy cyklu życia analizowanego budynku w każdym rozważanym wariantcie. Wartości

**Tabela 2.** Układ konstrukcyjny i sposób posadowienia analizowanych budynków

Budynek	Opis
<b>A1 murowany, konwencjonalny</b>	Konstrukcja nośna w układzie podłużnym. Ściany nośne w technologii murowej jednowarstwowej z betonu komórkowego. Konstrukcja stropu żelbetowa gęstożebrowa. Konstrukcja dachu tradycyjna, drewniana w układzie z jętką podpartą. Posadowienie budynku na ławach fundamentowych. Ławy fundamentowe z betonu (grubość 30 cm) posadowione bezpośrednio na gruncie nośnym.
<b>A2 murowany, pasywny</b>	Konstrukcja nośna w układzie podłużnym. Ściany nośne w technologii murowej dwuwarstwowej. Konstrukcja stropu żelbetowa gęstożebrowa. Konstrukcja dachu tradycyjna, drewniana w układzie z jętką podpartą. Posadowienie budynku na betonowej płycie fundamentowej (grubość 25 cm) posadowionej na gruncie nośnym za pośrednictwem płyt termoizolacyjnych (XPS).
<b>B1 drewniany, konwencjonalny</b>	Konstrukcja nośna w układzie podłużnym. Ściany nośne w technologii lekkiego szkieletu. Konstrukcja stropu oraz dachu dwuspadowego z zastosowaniem drewnianych wiązarów kratowych. Posadowienie budynku na betonowych ławach fundamentowych (grubość 30 cm) posadowionych bezpośrednio na gruncie nośnym.
<b>B2 drewniany, pasywny</b>	Konstrukcja nośna ścianowa w układzie podłużnym. Ściany nośne w technologii lekkiego szkieletu. Konstrukcja stropu oraz dachu dwuspadowego z zastosowaniem drewnianych wiązarów kratowych. Posadowienie budynku na betonowej płycie fundamentowej (grubość 20cm) posadowionej na gruncie nośnym za pośrednictwem granulatu termoizolacyjnego (granulat szkła spienionego).

**Tabela 3.** Oddziaływanie na środowisko poszczególnych etapów cyklu życia jednorodzinnego budynku mieszkalnego analizowanego w czterech wariantach technologiczno-energetycznych [1]

Etap cyklu życia	Oddziaływanie na środowisko budynku							
	A1		A2		B1		B2	
	Pt	%	Pt	%	Pt	%	Pt	%
Etap 1 – produkcja materiałów budowlanych	16,8	6,8	20,4	7,5	6,3	2,8	13,0	5,1
Etap 2 – transport materiałów budowlanych	1,7	0,7	1,7	0,6	1,3	0,6	0,7	0,3
Etap 3 – budowa	1,6	0,6	1,6	0,6	0,4	0,2	0,4	0,2
<b>Etap 4 – użytkowanie</b>	<b>229,5</b>	<b>92,1</b>	<b>249,0</b>	<b>92,0</b>	<b>223,2</b>	<b>96,7</b>	<b>245,1</b>	<b>95,3</b>
Etap 5 – rozbiórka	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
Etap 6 – transport odpadów porozbiórkowych	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
Etap 7 – końcowe zagospodarowanie odpadów porozbiórkowych	-0,9	-0,4	-2,4	-0,9	-0,8	-0,4	-2,4	-0,9
<b>Razem</b>	<b>249,1</b>	<b>100,0</b>	<b>270,6</b>	<b>100,0</b>	<b>230,7</b>	<b>100,0</b>	<b>257,1</b>	<b>100,0</b>

wskaźnika środowiskowego (metoda Impact 2002+) wskazano w tabeli 3. Wartości dodatnie oznaczają negatywne oddziaływanie, natomiast wartości ujemne wskazują na występowanie korzyści środowiskowej. Jak widać, głównym źródłem negatywnego oddziaływania w cyklu życia analizowanego budynku jest etap 4 – użytkowanie, który jest odpowiedzialny za ponad 90% całego wpływu. I to bez względu na strukturę materiałową, technologię wykonania i standard energetyczny budynku. Na drugim miejscu znajduje się etap 1 – produkcja materiałów budowlanych, potem etap 2

– transport materiałów budowlanych do miejsca budowy, a na kolejnych budowa, rozbiórka budynku i transport odpadów porozbiórkowych. Końcowe zagospodarowanie odpadów porozbiórkowych, jako jedyny etap cyklu życia, wykazuje ujemny wynik wskaźnika środowiskowego, co oznacza korzyść dla środowiska. Jest to efekt wysokiego wskaźnika recyklingu przyjętego dla odpadów budowlanych.

Z punktu widzenia poszukiwania doskonalenia środowiskowego budynków, dalszym krokiem powinna być

**Tabela 4.** Oddziaływanie na środowisko poszczególnych elementów użytkowania jednorodzinnego budynku mieszkalnego analizowanego w czterech wariantach technologiczno-energetycznych [1]

Składowe etapu 4 – użytkowania budynku	Oddziaływanie na środowisko budynku							
	A1		A2		B1		B2	
	Pt	%	Pt	%	Pt	%	Pt	%
Zajmowanie powierzchni terenu	7,0	3,0	7,0	2,8	7,0	3,1	7,0	2,9
<b>Eksploatacja</b>	<b>198,5</b>	<b>86,5</b>	<b>217,0</b>	<b>87,1</b>	<b>198,0</b>	<b>86,3</b>	<b>218,0</b>	<b>89,1</b>
Wymiany i remonty	13,5	5,9	15,7	6,3	15,8	6,9	9,8	4,0
Odnowienia i konserwacje	1,7	0,7	1,7	0,7	1,7	0,7	1,7	0,7
Transport materiałów budowlanych	1,8	0,8	1,7	0,7	0,8	0,3	0,8	0,3
Transport odpadów	0,02	0,009	0,02	0,008	0,03	0,01	0,03	0,0
Zagospodarowanie odpadów	7,0	3,0	5,2	2,1	6,1	2,7	7,2	2,9
<b>Razem</b>	<b>229,5</b>	<b>100,0</b>	<b>249,0</b>	<b>100,0</b>	<b>223,2</b>	<b>100,0</b>	<b>245,1</b>	<b>100,0</b>

identyfikacja procesu (ów) zachodzącego podczas użytkowania, który jest przyczyną tworzenia tak wysokiego negatywnego wpływu. Różne elementy składające się na 100-letnie użytkowanie budynku przedstawiono w tabeli 4. W każdym przypadku główny udział ma tzw. eksploatacja. Pod tym pojęciem kryje się zużycie wody i generowanie ścieków, a także zużycie energii cieplnej i elektrycznej związane z ogrzewaniem i oświetleniem budynku, użytkowaniem sprzętu RTV/AGD, podgrzaniem ciepłej wody oraz wentylacją. To te procesy realizowane w ciągu założonego okresu użytkowania (100 lat) stanowią główne źródło negatywnego wpływu w całym cyklu życia analizowanego budynku. Jak widać, odpowiedzialne są one za ponad 85% całego oddziaływania generowanego przez etap użytkowania.

#### 4. Podsumowanie

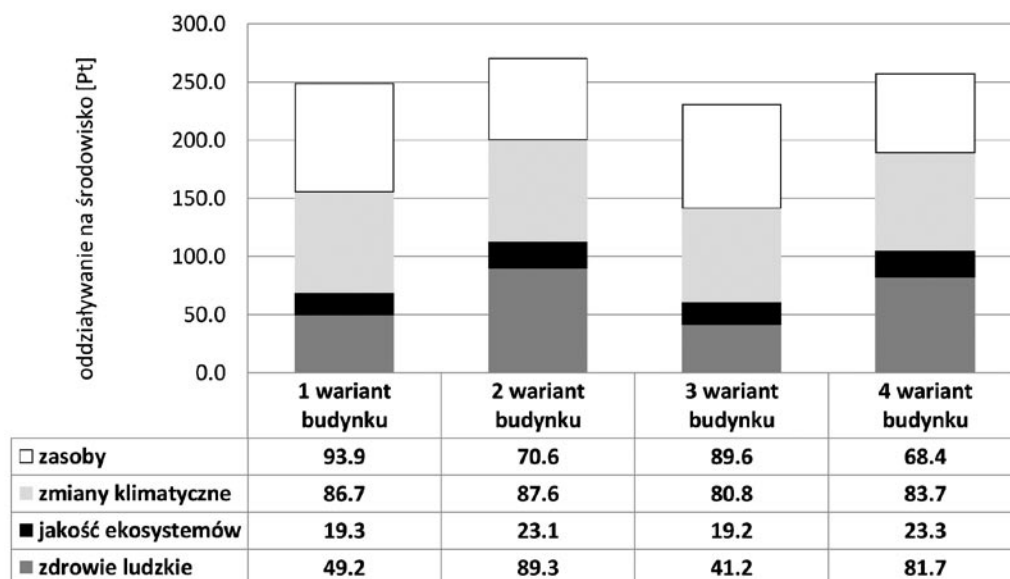
Na podstawie przedstawionych wyników można sformułować następujące wnioski:

- z perspektywy pełnego cyklu życia budynku, główne źródła negatywnego wpływu na środowisko tkwią w długoletnim etapie użytkowania, co potwierdzają wyniki uzyskane dla każdego wariantu analizowanego budynku, bez względu na technologię jego wykonania, strukturę materiałową, czy standard energetyczny;
- w zakresie użytkowania zidentyfikowano trzy kluczowe elementy, odpowiedzialne za tworzenie negatywnego wpływu: zużycie energii cieplej, energii elektrycznej i oczyszczanie ścieków.

Można zatem dociekać, co konkretnie w odniesieniu do tych trzech elementów powoduje tak wysoki wpływ na środowisko. Stosowanie perspektywy cyklu życia w analizach LCA powoduje, że każdy element inwentarzowy – taki jak

choćby wspomniane zużycie energii, czy zagospodarowanie ścieków – rozpatruje się w szerokim kontekście procesowym, przy uwzględnieniu procesów zachodzących w powiązanych systemach wyrobów. W przypadku budynków konwencjonalnych (nie spełniających standardów budownictwa pasywnego) założono funkcjonowanie gazowej instalacji grzewczej. W ciągu 100 lat użytkowania budynki te wykorzystują odpowiednio: 1 563 769 kWh gazu ziemnego dla budynku murowanego oraz 1 548 468 kWh dla budynku drewnianego. Ponadto gaz ziemny zostaje wykorzystany do podgrzania ciepłej wody użytkowej (658 446 kWh w obu budynkach). Z punktu widzenia badań LCA wykorzystywanie gazu ziemnego prowadzi do dwóch głównych rodzajów konsekwencji: ubożenia nieodnawialnych zasobów energetycznych oraz emisji zanieczyszczeń do powietrza z tytułu spalania paliwa w domowej instalacji. W przypadku energii elektrycznej, która pobierana jest i używana bezpośrednio w budynku, całość oddziaływań na środowisko zachodzi „przed gniazdkiem elektrycznym” (tzw. *upstream processes*), a więc wiąże się z wydobyciem nośników w kopalniach/rafineriach, ich przeróbką i transportem do elektrowni, emisjami w elektrowniach i dystrybucją w sieci przesyłowej. W przypadku budynków konwencjonalnych łączne zużycie energii elektrycznej w ciągu 100 lat użytkowania określono na poziomie 208 076 kWh, natomiast w budynkach pasywnych na poziomie 673 394 kWh w wariantcie murowanym pasywnym) i 677 481 kWh w wariantcie drewnianym pasywnym. Większe zużycie prądu w wariantach pasywnych wiąże się z faktem założenia dogrzewania budynku przy użyciu grzejników elektrycznych. Większe zużycie prądu elektrycznego, to większy negatywny wpływ na środowisko.

Oddziaływanie na środowisko całego cyklu życia budynku w analizowanych czterech wariantach zaprezentowano



**Rys. 2.** Oddziaływanie na środowisko całego cyklu życia budynku w analizowanych czterech wariantach [1]

na rysunku 2. Kolumny podzielone są na cztery kolory, które odpowiadają tzw. kategoriom szkody. Kolor biały oznacza „zasoby”, jasnoszary „zmiany klimatyczne”, czarny „jakość ekosystemów” oraz ciemnoszary „zdrowie ludzkie”. Jak widać w kolumnach dominują głównie dwa pierwsze kolory. Obciążenie „zasobów” wynika z wykorzystywania gazu ziemnego do ogrzewania budynków konwencjonalnych oraz z wydobywania innych paliw nieodnawialnych do produkcji energii elektrycznej (w analizie przyjęto strukturę produkcji energii elektrycznej reprezentatywną dla Polski). „Zmiany klimatyczne” oraz „zdrowie ludzkie” obciążane są z tytułu emisji zanieczyszczeń dokonujących się w samym budynku (spalanie gazu ziemnego w celach grzewczych), jak i w innych miejscach cyklu życia (elektrownie, oczyszczalnia ścieków, transport itp.). Wartości wskaźników kategorii szkody można dezagregować do mniejszych komponentów tzw. kategorii wpływu, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie informacji o konkretnych problemach środowiskowych.

Głównym problemem w przypadku analizowanych obiektów pasywnych było pełne pokrywanie ich potrzeb energetycznych przy wykorzystaniu energii elektrycznej, wytwarzanej w oparciu o strukturę produkcji energii właściwą dla Polski. I nawet fakt kilkakrotnie niższego ogólnego zapotrzebowania energetycznego tych obiektów w porównaniu do budynków konwencjonalnych, nie zniwelował owej różnicy. Można zatem wnioskować, że nie tylko ilość, ale także rodzaj wykorzystywanej energii odgrywa kluczową rolę.

W przypadku badań LCA budynków mamy do czynienia z bardzo złożonymi cyklami życia, o długim zakresie czasowym (kilkudziesięcioletnie okresy użytkowania budynków).

Celem prezentowanych badań nie była ocena budownictwa pasywnego na tle konwencjonalnego, bowiem w takim przypadku należałoby uwzględnić znacznie więcej

scenariuszy materiałowo-użytkowych. Uzyskane wyniki należy odnosić do przyjętych założeń mając na uwadze, że równie dobrze można by dokonać założenia, że domy konwencjonalne pokrywają swe zapotrzebowanie energetyczne samą energią elektryczną, a domy pasywne używają także pierwotne nośniki energii. Zasadniczym wnioskiem, który należałoby wyciągnąć jest fakt, że energia używana w wieloletnim okresie użytkowania budynków jest aspektem kluczowym bez względu na rodzaj budynku oraz że, ze środowiskowego punktu widzenia, bieżący ekologiczny energii przetworzonej (elektrycznej i ciepłej) szczególnie w strukturze produkcji energii w Polsce jest dużo wyższy od wykorzystywania pierwotnych nośników energii lub energii odnawialnej. Samo ograniczenie zapotrzebowania energetycznego (jak to było w przypadku analizowanych domów pasywnych) jest ważne, ale powinno być dokonywane w powiązaniu z rodzajem energii, która to zapotrzebowanie pokrywa.

Pozyskane inwentarzowe wartości liczbowe czterech porównywanych modelowych budynków zestawiono w tabeli 5. W budynku drewnianym pasywnym założono zastosowanie 20,4% materiałów drzewnych i drewnopochodnych, co istotnie przełożyło się na spadek masy używanych materiałów budowlanych. W budynku drewnianym pasywnym założono łączne zużycie 91 623,8 kg materiałów i jest ono 2,5 razy niższe od analizowanych budynków murowanych. Oznacza to, że znacznie mniejsza (masowo) ilość materiałów budowlanych musi zostać wyprodukowana oraz przetransportowana z miejsca produkcji do miejsca sprzedaży, a potem na plac budowy. Są to źródła potencjalnej korzyści środowiskowej w cyklu życia budynków wynikające z procesów dziejących się przed budową (tzw. upstream processes). Niestety wzrost zużycia materiałów drzewnych pociąga za sobą niemal dwukrotnie większe zapotrzebowanie

**Tabela 5.** Inwentarzowe wartości liczbowe czterech porównywanych modelowych budynków [1]

Kryterium inwentarzowe		Budynek A1	Budynek A2	Budynek B1	Budynek B2
Udział drewna jako surowca odnawianego w łącznej masie materiałów budowlanych	%	1,9	1,7	9,0	20,4
Łączna masa materiałów budowlanych zużywanych na placu budowy	kg	217 987	244 282	150 994	91 624
Zużycie farb i środków impregnujących drewno i materiały drewnopochodne	kg	241,8	243,1	460,1	465,8
Sumaryczny wskaźnik transportowy (tonaż * dystans) dla dostarczenia materiałów budowlanych na plac budowy	tkm	32 480	32 532	23 857	8 127
Czas realizacji budowy (łącznie z sezonowaniem)	m-ce	18	18	3	3
Zużycie wody na placu budowy	kg	2 577,3	2 032,6	431,7	340,2
Zużycie energii elektrycznej na placu budowy (elektronarzędzia, mieszarki, agregaty do tynkowania)	kWh	923,9	688,7	118,6	120,8
Zużycie energii elektrycznej podczas rozbiórki	kWh	377,5	253,1	195,3	197,5
Sumaryczny wskaźnik transportowy (tonaż * dystans) dla przewiezienia odpadów porozbiórkowych do miejsc ich zagospodarowania	tkm	3 254	3 604	2 197	1 233
Ilość odpadów generowanych na placu budowy i po rozbiórce budynku (część materiałów podlegających akumulacji w trakcie użytkowania)	kg	222 319	247 845	152 653	93 685

na środki i materiały impregnujące, które wykazują się potencjalną szkodliwością środowiskową zarówno z perspektywy produkcji, jak i późniejszego zagospodarowania za impregnowanych odpadów porozbiórkowych, co można postrzegać za główną i w zasadzie jedyną wadę rozwiązań opartych na drewnie.

Ze względu na częściową prefabrykację ścian zewnętrznych i wewnętrznych budynków drewnianych możliwy do osiągnięcia czas realizacji budowy skraca się z 18 miesięcy dla budynków murowanych (wraz ze sezonowaniem) do 3 miesięcy dla obiektów drewnianych. Krótszy czas trwania prac budowlanych i odmienne technologicznie procesy budowlane przekładają się na wyraźny – bo aż sześciokrotny – spadek zużycia wody i prądu na placu budowy. Budynki drewniane są także łatwiejsze w rozbiórce, która to w przypadku analizowanych obiektów pochłania ok. 40% mniej energii elektrycznej, niż przy likwidacji budynków murowanych. Zmniejsza się także masa i objętość odpadów budowlanych, co skutkuje mniejszymi negatywnymi oddziaływaniami transportowymi i związanymi z zagospodarowaniem odpadów.

W przeprowadzonych analizach materiały drzewne i drewnopochodne, jako jedyne spośród analizowanych materiałów budowlanych, wykazały korzyść środowiskową zarówno z perspektywy produkcji, jak i zagospodarowania odpadów budowlanych po likwidacji samego budynku. W przypadku produkcji materiałów budowlanych jest to bezpośrednio związane z pozytywnym dla globalnego ocieplenia, efektem

fotosyntezy i wychwytywania dwutlenku węgla, który następuje w „kołysce” surowca drzewnego, czyli podczas wzrostu drzew w lesie. Ponieważ nie tylko produkty z drewna, ale także wyroby drewnopochodne (płyty OSB, MDF/HDF, sklejka, celuloza) oparte są na surowcu drzewnym, to pozytywny efekt ekologiczny „kołyski” występuje także w ich przypadku. Na podstawie przeprowadzonych analiz LCA stwierdzono, że dla materiałów opartych na surowcu drzewnym korzyść środowiskowa w zakresie globalnego ocieplenia przewyższa negatywne oddziaływanie na środowisko wykazywane dla innych problemów środowiskowych. Wyjątkiem okazała się celuloza, użyta jako materiał izolacyjny ścian zewnętrznych i stropu w domu drewnianym pasywnym, w której przypadku negatywny wpływ energochłonności oraz zużycia związków chemicznych w produkcji tego materiału przewyższał pozytywny efekt ekologiczny z tytułu fotosyntezy i wykorzystania w nim surowca drzewnego. Ale nawet w przypadku budynku drewnianego pasywnego, po dodaniu wyniku wskaźnika dla celulozy i uzyskaniu dzięki temu niewielkiego dodatniego (negatywnego) oddziaływania na środowisko, nadal materiały drzewne należą do najmniej oddziałujących na środowisko spośród wszystkich wykorzystanych w analizowanych budynkach.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Lewandowska A., Noskowiak A., Pajchrowski G., Strykowski W., Witczak J., Środowiskowa ocena cyklu życia modelowych budynków drewnianych i murowanych jako przykład zastosowania techniki LCA, Wyd. ITD, Poznań, 2012