

ŚRODOWISKOWE ASPEKTY NOWOCZESNEGO BUDOWNICTWA DREWNIANEGO



Warszawa, Listopad 2019 r.

Krajowa Agencja Poszanowania Energii SA

Opracowanie, na zlecenie Ministerstwa Środowiska wykonała Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A.



Zespół:

dr inż. Arkadiusz Węglarz

dr inż. arch. Michał Pierzchalski

mgr inż. Dariusz Koc

mgr inż. Piotr Krysik

dr inż. Jan Pelczyński

dr inż. Anna Al Sabouni-Zawadzka

mgr inż. Anna Wierchołowska-Dziedzic

mgr inż. Agata Skrzypek

mgr inż. Joanna Ogrodniczuk

Spis treści

Słownik pojęć.....	2
1 Wprowadzenie	4
2 Ocena wpływu sektora budownictwa na środowisko	9
2.1 Charakterystyka metod oceny wpływu sektora budownictwa na środowisko	9
2.2 Uzasadnienie wyboru metody LCA (Oceny w cyklu życia obiektu) i przyjętych kryteriów oceny	15
2.3 Charakterystyka technologii budowy domów drewnianych.....	16
3 Oceny cyklu życia budynku mieszkalnego jednorodzinnego	29
3.1 Wstęp	29
3.2 Opis przyjętych założeń projektowych	29
3.3 Opis przyjętych założeń do analizy LCA	30
3.4 Ślad węglowy wyrobów z drewna.....	32
3.5 Wybór standardu energetycznego	33
3.6 Opis budynku w technologii murowanej – referencyjny (WT2021).....	35
3.7 Opis budynku w technologii drewnianej (WT2021).....	36
3.8 Wyniki oceny LCA budynków	38
4 Ocena kosztów w cyklu życia budynku (LCC).....	42
4.1 Charakterystyka metody LCC	42
4.2 Wyniki oceny LCC budynku zaprojektowanego w technologii tradycyjnej i w technologii	46
4.3 Wyniki oceny LCC budynku zaprojektowanego w technologii tradycyjnej i w technologii	49
4.4 Wyniki oceny LCC budynku zaprojektowanego w technologii tradycyjnej i w technologii	49
5 Wybór optymalnego standardu energetycznego budynku drewnianego z uwzględnieniem kryteriów	51
6 Ocena korzyści środowiskowych wynikających ze znacznego wzrostu budowy domów	53
7 Przykłady dobrych praktyk dotyczących mechanizmów wsparcia budownictwa drewnianego	54
7.1 Przykłady dobrych praktyk w Kanadzie.....	54
7.2 Przykłady dobrych praktyk w Norwegii.....	58
7.3 Przykłady dobrych praktyk w Niemczech	61
8 Rekomendacje dla polskiej administracji.....	67
8.1 Rekomendacje dotyczące zmian prawnych.....	67
8.2 Propozycje mechanizmów finansowych	67
8.3 Propozycje kampanii informacyjnych i edukacyjnych.....	68
9 Podsumowanie i wnioski.....	72
Załącznik 1	77
Z-1.1. Wielokryterialne systemy oceny oddziaływania budynku na środowisko.....	77
Z-1.2. Metody oceny oddziaływania budynku na środowisko w cyklu jego życia	78
Załącznik 2	81
Z-2.1. Zestawienie wyrobów budowlanych branych pod uwagę do obliczeń.....	81
Z-2.2. Zestawienie wyrobów z drewna	81
Z-2.3. Rozwiązania techniczne – budynek murowany WT2021.....	82
Z-2.4. Rozwiązania techniczne – budynek szkielet drewniany WT2021	87
Z-2.5. Analiza Life Cycle Assessment.....	91

Słownik pojęć

Pojęcie	Wyjaśnienie
Energia pierwotna	Energia zawarta w pierwotnych nośnikach energii, pozyskiwana bezpośrednio ze środowiska, a w szczególności: w węglu kamiennym energetycznym (łącznie z węglem odzyskanym z hald), w węglu kamiennym koksowym, w węglu brunatnym, w ropie naftowej (łącznie z gazoliną), w gazie ziemnym wysokometanowym (łącznie z gazem z odmetanowania kopalń węgla kamiennego), w gazie ziemnym zaazotowanym, w torfie do celów opałowych, oraz energii: wody, wiatru, słoneczną, geotermalną wykorzystywaną do wytwarzania energii elektrycznej, ciepła lub chłodu, a także biomasę.
Energia końcowa	Energia, którą należy dostarczyć do granicy bilansowej budynku, inaczej granicy systemu c.o. (centralnego ogrzewania) i c.w.u. (cieplej wody użytkowej), o danej sprawności oraz energia pomocnicza potrzebna do utrzymania pracy urządzeń instalacji tak, aby pokryć zapotrzebowanie na energię użytkową. Energia końcowa obejmuje również zapotrzebowanie na energię do chłodzenia budynków, a w budynkach użyteczności publicznej także oświetlenia wbudowanego. Jest to energia szczególnie istotna dla użytkownika budynku, gdyż wiąże się z kosztami ponoszonymi na jego eksploatację zgodnie z jego przeznaczeniem. Zapotrzebowanie na energię końcową przedstawia się w postaci wskaźnika energii końcowej EK przeliczonego na 1 m ² , czyli w kWh/(m ² rok).
Energia wbudowana	lub początkowa energia skumulowana w niniejszym opracowaniu oznacza energię pierwotną (ze źródeł odnawialnych i nieodnawialnych) zużywaną na wytworzenie danego wyrobu budowlanego. Energia zużywana na procesy związane z pozyskaniem surowców, transport i procesy produkcyjne. Jest to energia zużyta w trakcie tak zwanej fazy cradle-to-gate – czyli od „kołyski” do bramy zakładu produkcyjnego.
Skumulowana energia pierwotna	Skumulowana energia pierwotna to sumaryczne zużycie energii, obciążające wszystkie procesy wytwórcze i transportowe, począwszy od pozyskania surowców, aż do końcowego procesu prowadzącego do wytworzenia danego wyrobu. Skumulowane zużycie energii dotyczy nie tylko materiałów i wyrobów, lecz również paliw pierwotnych i nośników energii bezpośredniej.

Pojęcie	Wyjaśnienie
Ślad węglowy	Ślad węglowy jest to całkowity zestaw gazów cieplarnianych wyemitowanych w cyklu życia produktu, przez organizację lub przez daną osobę. Inną definicją stosowaną w literaturze i badaniach jest miara całkowitej ilości wyemitowanego dwutlenku węgla (CO ₂) i metanu (CH ₄) z uwzględnieniem podtlenku azotu (N ₂ O), szacowane dla określonej populacji, systemu lub działalności, biorąc pod uwagę wszystkie istotne źródła, na określonym terenie, w określonej przestrzeni czasowej, dla populacji ludności, systemu lub aktywności publicznej.

1 Wprowadzenie

Niniejsze opracowanie zostało opracowane na zlecenie Ministerstwa Środowiska, które wdraża politykę zrównoważonego rozwoju poprzez ograniczenie emisji dwutlenku węgla powstającego przy produkcji materiałów budowlanych używanych w technologii murowanej (cementu, styropianu, cegiel, stali czy plastiku), propagowanie efektywnego wykorzystania surowca drzewnego jako materiału budowlanego i przeciwdziałanie zmianom klimatu. Ministerstwo Środowiska realizuje projekt strategiczny „Budownictwo drewniane”, którego celem jest ograniczenie deficytu mieszkań poprzez inwestycje w drewniane budownictwo ekologiczne, stworzenie warunków do rozwoju branży budownictwa drewnianego w Polsce oraz wykreowanie mody na ekologiczne budownictwo drewniane. Celem analiz przeprowadzonych w ramach niniejszego opracowania jest wskazanie korzyści środowiskowych związanych z rozwojem nowoczesnego budownictwa drewnianego w Polsce oraz przegląd dobrych praktyk dotyczących publicznych mechanizmów wsparcia budownictwa drewnianego funkcjonujących w innych krajach.

Według szacunków wykonanych w ramach raportu „Greening The Building Supply Chain”¹, około jednej trzeciej światowego zużycia energii wiąże się z procesem użytkowania budynków biurowych i mieszkalnych. Konsumpcja energii związana z budownictwem przekracza poziom 40% światowych dostaw. W chwili obecnej blisko 80% zużycia energii przez budynki w cyklu życia ma miejsce na etapie użytkowania.² Sektor budowlany odpowiada za 30-40% całkowitej emisji gazów cieplarnianych na świecie. Według „Greening The Building Supply Chain” w miarę upowszechniania się budynków charakteryzujących się wysoką efektywnością energetyczną, coraz większą rolę będzie odgrywała energia „wbudowana” w zastosowane materiały. Branża budowlana wykorzystuje bowiem około 3 mld ton surowców każdego roku, co odpowiada około 40-50% całkowitego zapotrzebowania na surowce.³

Ograniczenie wysokiego zużycia energii, a przy tym również emisji zanieczyszczeń do środowiska, jest jednym z najważniejszych działań Komisji Europejskiej w ramach celów i strategii w dziedzinie klimatu. Promocja i rozwój budownictwa energooszczędnego wpisują się w realizację przyjętych zobowiązań zarówno na poziomie Unii Europejskiej, jak i na poziomie krajowym, w tym m.in.:

- Strategię na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu – „Strategia Europa 2020”⁴,
- Unijny pakiet klimatyczno-energetyczny do 2020 roku⁵,
- Ramy polityki w zakresie klimatu i energii do roku 2030⁶,
- Porozumienie Komisji Europejskiej, Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 14 czerwca 2018 r.⁷,

¹ <https://www.environmental-expert.com/articles/unep-report-greening-the-building-supply-chain-441649>, dostęp: 24.10.2019

² *Zrównoważone budownictwo w UE. Informator – cz. LVIII, ITP., 2017*, <https://www.itb.pl/informator.html>, dostęp: 24.10.2019

³ Pierzchański M. *Architektoniczna optymalizacja budynków mieszkalnych jednorodzinnych w zakresie oddziaływania na środowisko naturalne przy wykorzystaniu oceny cyklu życia (LCA)*, 2018

⁴ *Strategia Europa 2020KOM (2010) 2020 wersja ostateczna, Bruksela, 03.03.2010*

⁵ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_pl, dostęp: 14.05.2019

⁶ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_pl, dostęp: 14.05.2019

⁷ *cel w zakresie odnawialnych źródeł energii (OZE)*

- Nową dyrektywę EED (z dn. 20 czerwca 2018 r)⁸,
- Długoterminową strategię do roku 2050⁹,
- Strategię na Rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju¹⁰,
- Politykę ekologiczną państwa 2030¹¹
- Narodowy Program Mieszkaniowy¹²,
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r.

Szersze wykorzystanie drewna w budownictwie w znacznym stopniu przyczynia się do przeciwdziałania zmianom klimatycznym poprzez:

- ograniczenie emisji CO₂ powstającego przy produkcji stali i cementu,
- wiązanie CO₂ na wiele lat w drewnie używanym do produkcji budynków,
- zmniejszenie ilości energii niezbędnej do utrzymania budynków w trakcie ich eksploatacji.

W ostatnich latach obserwuje się wzmożone zainteresowanie budownictwem naturalnym, a także wykorzystaniem materiałów z recyklingu (np. dachówki z płyt PVC, butelki, celuloza czy strzępki bawełniane po używanej odzieży) lub surowców naturalnych takich jak, glina, wapno, naturalne włókna roślinne (włókna konopne, słoma, włókno drzewne) oraz drewno. Stosowanie tych materiałów ogranicza negatywne skutki dla środowiska w porównaniu do takich wyrobów jak wypalane cegły, beton oraz stal i aluminium, których wytworzenie jest bardzo energochłonne. Stosowanie naturalnych wyrobów może również wpływać korzystnie na poprawę mikroklimatu wewnątrz budynków (m.in. poprzez redukcję VOC – lotnych związków organicznych).

Drewno jako surowiec, idealnie wpisuje się w trend budownictwa energooszczędnego i przyjaznego środowisku. Z drewna można wytworzyć wyroby budowlane o różnym stopniu przetworzenia. Najmniej przetworzone jest lite drewno, które może być wykorzystywane konstrukcyjnie oraz jako elementy wykończeniowe (np. pokrycie elewacji budynków). W celu poprawy parametrów drewna oraz umożliwienia jego szerszego zastosowania stworzono inne wyroby drewnopochodne m.in:

- konstrukcyjne drewno klejone na złącza klinowe,
- drewno klejone warstwowo,
- drewno klejone krzyżowo (CLT),
- forniry klejone warstwowo (LVL),
- sklejki,
- płyty wiórowe OSB,
- płyty wiórowe inne,
- płyty i materiały termoizolacyjne,
- belki dwuteowe.

⁸ cele w zakresie efektywności energetycznej w zakresie zwiększenia efektywności w stosunku do prognoz zużycia z 2007 roku.

⁹ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_pl, dostęp: 14.05.2019

¹⁰ Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.) Dokument przyjęty uchwałą Rady Ministrów w dniu 14 lutego 2017 r.

¹¹ <http://monitorpolski.gov.pl/MP/2019/794>, dostęp 24.10.2019

¹² Narodowy Program Mieszkaniowy, Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa, Załącznik do uchwały nr 115/20126 Rady Ministrów z dnia 27 września 2016 r.

Ogromną rolę w rozwoju budownictwa drewnianego odgrywa także prefabrykacja, czyli wytwarzanie elementów budowlanych poza miejscem budowy i sprowadzenie ich na budowę jako elementów gotowych do montażu, co oszczędza czas, poprawia jakość robót i zwiększa efektywność procesu budowlanego. W technologiach prefabrykowanych można wykorzystywać zarówno lite drewno konstrukcyjne, jak również wszelkiego rodzaju wyroby drewnopochodne. Zaletą stosowania drewna w budownictwie, w tym przypadku, jest:

- korzystny stosunek ciężaru do wytrzymałości,
- niski współczynnik przewodzenia ciepła (redukcja mostków cieplnych w przegrodzie),
- brak zmian wymiarów przy zmianie temperatury,
- łatwa obróbka mechaniczna.

Prefabrykacja może dotyczyć dowolnego obiektu budowlanego i być dostosowana do różnych założeń projektowych. Ponadto nawet całe budynki (jednorodzinne) lub fragmenty budynków wielorodzinnych mogą być wytwarzane poza placem budowy – wówczas mówi się o konstrukcji modułowej. Konstrukcje modułowe mogą być wykonane z tych samych materiałów i zaprojektowane zgodnie z tymi samymi standardami co budynki budowane na miejscu docelowym, ale proces ich powstawania powoduje znacznie mniejsze zakłócenia w środowisku.

Drewno jest podstawowym materiałem konstrukcyjnym stosowanym w Polsce od wieków w tradycyjnych prostych konstrukcjach. Mimo to, obecnie jest mało popularne. Dla porównania – w krajach skandynawskich w budynkach drewnianych mieszka ok. 90% populacji. W Polsce relacje te są odwrócone.

Liczba domów drewnianych, pomimo wzrostu ich liczby w ostatnich latach, zgodnie z danymi GUS, ciągle pozostaje na niskim poziomie. Liczba budynków oddawanych do użytkowania od 2013 do 2018 wzrosła zaledwie od ok. 0,4% do ok. 0,83%, natomiast liczba mieszkań wzrosła zaledwie 0,25% do 0,37%.

Tabela 1.1. Budynki w konstrukcji drewnianej na tle budynków oddanych ogółem

Opis	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Liczba budynków oddanych ogółem	75 574	71 184	74 728	74 221	78 740	79 295
Liczba budynków oddanych w konstrukcji drewnianej	341	406	348	378	455	658
Udział procentowy	0,45	0,57	0,47	0,51	0,58	0,83

Źródło: Opracowanie własne KAPE na podstawie GUS

Tabela 1.2. Mieszkania w konstrukcji drewnianej na tle mieszkań oddanych ogółem

Opis	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Liczba mieszkań oddanych ogółem	139 639	137 364	143 068	157 977	173 489	180 897
Liczba mieszkań oddanych w konstrukcji drewnianej	346	409	351	381	486	674
Udział procentowy	0,25	0,30	0,25	0,24	0,28	0,37

Źródło: Opracowanie własne KAPE na podstawie GUS

Powyższe statystyki pokazują ciągle bardzo niski udział tej technologii w całkowitej liczbie budowanych budynków i mieszkań.

Jednocześnie liczba mieszkań, do 2016 r. włącznie, minimalnie przekraczała liczbę budynków drewnianych łącznie, co świadczy o tym, że w technologii drewnianej realizowane były wyłącznie

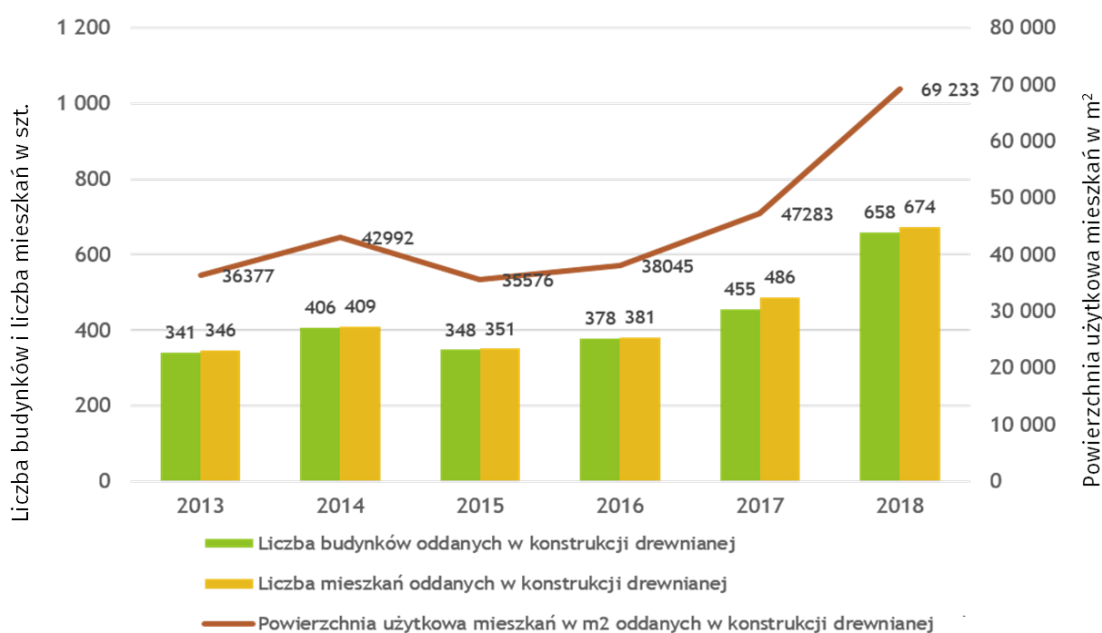
budynki jednorodzinne i w zabudowie bliźniaczej. Można stwierdzić, że praktycznie nie występowały budynki wielolokalowe budowane w tej technologii. Od 2017 r. widać niewielki wzrost w bilansie budynków i mieszkań. Są to jednak wielkości symboliczne i można stwierdzić, że budownictwo wielolokalowe w Polsce dotychczas nie występowało. Jest to nisza o sporym potencjale do zagospodarowania po dokonaniu szerszego rozeznania rynku i badań marketingowych wśród potencjalnych nabywców.

Tabela 1.3. Budynki powierzchnia mieszkań w konstrukcji drewnianej

Opis	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Liczba budynków oddanych w konstrukcji drewnianej	341	406	348	378	455	658
Liczba mieszkań oddanych w konstrukcji drewnianej	346	409	351	381	486	674
Powierzchnia użytkowa mieszkań w m ² oddanych w konstrukcji drewnianej	36377	42992	35576	38045	47283	69 233

Źródło: Opracowanie własne na podstawie GUS

Rysunek 1.1 wskazuje istotny (wykładniczy) wzrost popularności budownictwa drewnianego od roku 2016. Powierzchnia użytkowa mieszkań w roku 2018 osiągnęła 69 233 m². Stanowi to 0,42% całkowitej powierzchni użytkowej mieszkań oddawanych do użytku, która w 2018 r. wyniosła łącznie, dla wszystkich budynków oddawanych do użytkowania, 16 359 383 m².



Rysunek 1.1. Nowe budynki mieszkalne i nowe mieszkania z powierzchnią użytkową oddane do użytkowania w Polsce w latach 2012-2018.

Źródło: Opracowanie własne KAPE SA na podstawie danych GUS

Tylko kilkanaście procent ludności mieszka w domach drewnianych, a te dodatkowo często wymagają generalnego remontu. Wynika z tego, że technologie nowoczesnego drewnianego budownictwa szkieletowego dotarły do Polski z wielkim opóźnieniem. Ponadto, wśród naszego społeczeństwa widoczne jest niezrozumienie korzyści wynikających z budowy domów w technologiach drewnianych.

Pomimo tego, że technologia budowania z drewna powoli zyskuje w Polsce zwolenników, wciąż kojarzy się bardziej z budynkami jednorodziennymi (głównie starą architekturą wiejską) lub zabudową letniskową. Potwierdzają to dane statystyczne GUS, które osiągają podobne wartości przy porównaniu liczby budynków i liczby mieszkań na przestrzeni ostatnich lat. Dopiero lata 2017 i 2018 wskazują większe różnice pomiędzy tymi dwoma rodzajami obiektów mieszkalnych.

Miała popularność budownictwa drewnianego spowodowana jest ograniczoną wiedzą i doświadczeniem w zakresie jego wykorzystania, a co za tym idzie brakiem wyspecjalizowanych, objętych systemem certyfikacji firm budowlanych, oferujących swoje usługi na wysokim poziomie. To, w połączeniu z drogim ubezpieczeniem budowanych domów, znacznie ogranicza dostęp do kapitału pozwalającego na realizację inwestycji deweloperskich, pozostawiając budownictwo drewniane w obszarze prywatnej zabudowy jednorodzinnej. Świadczy to jednocześnie o ogromnym, niezagospodarowanym jeszcze potencjale.

Na przestrzeni ostatnich lat (jak pokazuje Rysunek 1.1) domy z drewna stanowią coraz częstszy wybór inwestorów. Najczęściej wybierane są drewniane domy szkieletowe. Do mniej popularnych technologii zalicza się domy z bali i drewna klejonego.¹³

Budynki drewniane z powodzeniem spełniają standardy energooszczędności, zapewniając niskie koszty utrzymania, a także wysoki komfort użytkowania. Ponadto, technologie drewniane w połączeniu z prefabrykacją idealnie wpisują się w wizję budownictwa zrównoważonego oraz niskoemisyjnego.

W czasach obserwowalnych zmian klimatycznych oraz groźby wyczerpania się konwencjonalnych zasobów energii, słodkiej wody oraz innych surowców, idea tworzenia budynków, które w harmonijny sposób współegzystują ze środowiskiem, a nawet mogą rekompensować przyrodzie straty poniesione z powodu działalności człowieka, wydaje się jak najbardziej uzasadniona. Wraz z rozwojem wspomnianych idei rozpoczęto badania nad energią wbudowaną i śladem węglowym w całym cyklu istnienia budynku.¹⁴

¹³ Oferteo.pl (2017) Raport o budowie domów w Polsce w 2016 roku: edycja 5. Dostępne w Internecie:

<https://www.oferteo.pl/raporty/raport-o-budowie-domow-2016-cz1>

¹⁴ jw.

2 Ocena wpływu sektora budownictwa na środowisko

2.1 Charakterystyka metod oceny wpływu sektora budownictwa na środowisko

Budynek jest tworem bardzo złożonym, jednak w celu praktycznej jego oceny konieczne jest określenie skończonej liczby cech oraz ich istotnych właściwości. Podstawą prac nad określeniem metod oceny jest założenie, że istnieje zgodność co do znaczenia pojęcia „wpływ budynku na środowisko” oraz, że istnieje wspólny zbiór cech, które mogą być określone w odniesieniu do wszystkich rodzajów budowli i we wszystkich krajach. Poniżej podjęto próbę zdefiniowania pojęcia budownictwo przyjazne środowisku naturalnemu.

Budownictwo przyjazne środowisku naturalnemu i człowiekowi realizuje zasady zrównoważonego rozwoju w wyniku takiego oddziaływania, które uwzględnia metody oszczędzenia zasobów naturalnych naszego globu oraz przeciwdziałania zanieczyszczeniu gleby, powietrza i wody.

W ogólnej skali będzie to:

- oszczędność surowców naturalnych,
- zmniejszenie energochłonności procesów technologicznych,
- zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów technologicznych (przez zmianę lub modernizację stosowanych technologii produkcji materiałów budowlanych) oraz ich zagospodarowanie lub utylizacja,
- zagospodarowanie niewykorzystanego surowca,
- odzyskiwanie i powtórne wykorzystanie materiałów budowlanych,
- zastępowanie materiałów i wyrobów budowlanych szkodliwych dla środowiska człowieka i środowiska przyrodniczego, materiałami "przyjaznymi" temu środowisku,
- utylizacja materiałów nieodnawialnych w sposób zapewniający ochronę środowiska przyrodniczego (np. sposób składowania).

W skali obiektu i jego bezpośredniego oddziaływania na środowisko zewnętrzne będzie to:

- układ budynku w terenie, z uwzględnieniem organizacji przestrzennej sąsiadujących z nim obiektów, ich wzajemne relacje, decydujące o przewietrzalności, nasłonecznieniu i wiążąca się z tym energochłonność zabudowy,
- zapotrzebowanie na energię do ogrzewania pomieszczeń, w zależności od kształtu i rozwiązań technicznych zastosowanych w budynku (energooszczędność i materiałochłonność),
- emisja zanieczyszczeń związana z użytkowaniem energii do celów grzewczych, zużycie wody w okresie eksploatacji obiektu,
- utylizacja ścieków i odpadów komunalnych.

Działania na rzecz ochrony środowiska naturalnego w sferze budownictwa zmierzają w kierunku:

- oceny materiałów i wyrobów budowlanych z punktu widzenia wpływu ich procesu technologicznego na środowisko naturalne,
- oceny obiektu budowlanego w okresie jego cyklu życia technicznego, ze szczególnym uwzględnieniem okresu eksploatacji i związanego z nim zużycia nośników energii oraz wody.

Aby zrealizować idee budownictwa przyjaznego środowisku naturalnemu konieczne było stworzenie systemów oceny ekologicznej budynków.

Powstały więc certyfikaty dotyczące gotowych obiektów budowlanych, systemy oceny poszczególnych materiałów budowlanych oraz systemy, których zadaniem jest pomoc właścicielom w podjęciu decyzji, co należy zrobić, aby ograniczyć negatywny wpływ na środowisko istniejących już budynków. Różne oceny biorą pod uwagę różne aspekty. Jedne skupiają się na zużyciu energii w fazie produkcji, transportu i eksploatacji, inne badają wykorzystanie energii nieodnawialnej, a jeszcze inne skupiają się np. na emisji do atmosfery szkodliwych gazów (przede wszystkim CO₂).

Dla porównania oceny wpływu na środowisko budynków wykonanych w technologii drewnianej i tradycyjnej zastosowano metodę LCA i LCC

Szczegółowy przegląd metod oceny ekologicznej budynków przedstawia Na przestrzeni ostatnich lat domy z drewna stanowią coraz częstszy wybór inwestorów. Najczęściej wybierane są drewniane domy szkieletowe. Do mniej popularnych technologii zalicza się domy z bali i drewna klejonego. Pomimo tego, że technologia budowania z drewna powoli zyskuje w Polsce zwolenników, wciąż kojarzy się bardziej z budynkami jednorodzinnymi (głównie starą architekturą wiejską) lub zabudową letniskową. Ponadto domy drewniane są zamieszkiwane przez niewielki udział społeczeństwa, a dodatkowo domy te często wymagają generalnego remontu.

Jak rozwój budownictwa drewnianego może przyczynić się do ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko sektora budownictwa?

Sektor budowlany odpowiada za 35% całkowitej emisji gazów cieplarnianych oraz 40% zużycia energii. Drzewo w procesie swojego wzrostu pochłania CO₂, które może być magazynowane w konstrukcji drewnianej przez dziesiątki a nawet setki lat. Parametry wytrzymałościowe i właściwości izolacyjne drewna pozwalają na budowę znacznie lżejszych i bardziej energooszczędnych konstrukcji niż odpowiadające im obiekty z betonu lub elementów murowych. Drewno po rozbiórce można w łatwy sposób ponownie wykorzystać. Biorąc pod uwagę ww. przedstawione fakty widzimy jak szczególnie ważne z punktu widzenia ochrony środowiska jest zapewnienie ciągłego rozwoju budownictwa drewnianego.

Budynki wykonane z drewna charakteryzują się dobrymi parametrami cieplnymi. Dzięki ograniczeniu występowania mostków termicznych, dobrej szczelności i własnościach wentylacyjnych drewna są również bardziej energooszczędne przy jednocześnie niższych kosztach inwestycyjnych. Dodatkowo, istotnym aspektem, który jest często pomijany, jest odporność ogniowa zarówno wielkowymiarowych konstrukcji drewnianych jak i domów z bali.

Dla zobrazowania jak duże mogą być korzyści środowiskowych, w ramach opracowania przeprowadzono analizy LCA, otrzymując wyniki:

- ślad węglowy w perspektywie pięćdziesięciu lat życia budynków wybudowanych w 2025 roku zmniejszy się o 246 tysięcy MgCO₂ – liczba ta odpowiada emisji dwutlenku węgla, który zostanie wyemitowany przez 1 samochód podczas przejechania ponad 2 mln km, lub przejechaniu trasy z Gdańska do Wenecji (tam i z powrotem) przez 600 samochodów,
- skumulowane zużycie energii pierwotnej w perspektywie pięćdziesięciu lat życia budynków wybudowanych w 2025 roku zmniejszy się o 528 tysięcy GJ – liczba ta odpowiada energii potrzebnej w ciągu roku dla ponad 154 tysięcy osób, czyli np. wszystkich mieszkańców Jeleniej Góry i Mysłowic (sektor mieszkaniowy; dot. zużycia energii elektrycznej i ciepła),

- nie powstanie 20 tysięcy Mg odpadów budowlanych – liczba ta odpowiada odpadom komunalnym produkowanym przez rok przez ponad 6400 osób lub pojemności 100 towarowych wagonów kolejowych.

W jaki sposób, na podstawie dostępnych danych, kwantyfikować środowiskowe korzyści budownictwa drewnianego?

W ramach opracowania przeprowadzono analizę cyklu życia budynku mieszkalnego jednorodzinnego (LCA) czterech wariantów budowy domów drewnianych:

- standard WT2021 dla domu szkieletowego wykonywanego na budowie,
- standard pasywny dla domu szkieletowego wykonywanego na budowie,
- standard WT2021 dla domu wykonywanego w technologii drewnianej prefabrykowanej,
- standard pasywny dla domu wykonywanego w technologii drewnianej prefabrykowanej.

Na podstawie wyników tej analizy można stwierdzić, że najmniejszy ślad ekologiczny ma budynek w technologii drewnianej w standardzie pasywnym. Znacznie większy efekt ekologiczny osiągają budynki, w których uwzględniona została sekwestracja dwutlenku węgla w wyrobach drewnianych i drewnopochodnych. Największa emisja związana jest z eksploatacją budynków, dlatego wraz z wdrażaniem technologii drewnianej ważny jest również wysoki standard energetyczny budynków.

W ramach opracowania przeprowadzono także ocenę kosztów w cyklu życia budynku (LCC), wykonanego w różnych wariantach (Murowany WT2021, murowany pasywny, drewniany WT2021, drewniany pasywny i drewniany prefabrykowany), w wyniku której zaobserwowano:

- wariant murowany pasywny jest mniej korzystny od wariantu murowanego pod względem efektywności kosztowej kryterium decyzyjnego metody LCC w stosunku do wariantu energetycznego WT2021 – niższy koszt użytkowania budynku pasywnego w cyklu życia jest niewystarczający do skompensowania wyższych początkowych nakładów inwestycyjnych,
- budynek wykonany w konstrukcji drewnianej WT2021 charakteryzuje się niższym o 21 699 zł netto w stosunku do wariantu murowanego WT2021 oraz o 29 863 zł netto w stosunku do wariantu murowanego pasywnego kosztem w pięćdziesięcioletnim cyklu życia – kryterium decyzyjne LCC wskazuje wariant budynku drewnianego jako bardziej korzystny pod względem efektywności kosztowej,

Wariant pasywny jest mniej korzystny pod względem efektywności kosztowej kryterium decyzyjnego metody LCC w stosunku do wariantu energetycznego WT2021 – niższy koszt użytkowania budynku pasywnego w cyklu życia jest niewystarczający do skompensowania wyższych początkowych nakładów inwestycyjnych.

W jakim stopniu obszar budownictwa drewnianego jest zintegrowany z ochroną klimatu?

Szersze wykorzystanie drewna w budownictwie w znacznym stopniu przyczynia się do przeciwdziałania zmianom klimatycznym poprzez: ograniczenie emisji CO₂, który powstaje przy produkcji stali i cementu, wiązanie CO₂ na wiele lat w drewnie używanym do produkcji budynków oraz zmniejszenie ilości energii niezbędnej do utrzymania budynków w trakcie ich eksploatacji.

Drewno jako surowiec, idealnie wpisuje się w trend budownictwa przyjaznego środowisku. Z drewna można wytworzyć wyroby budowlane o różnym stopniu przetworzenia. Ponadto, technologie

drewniane w połączeniu z prefabrykacją idealnie wpisują się w wizję budownictwa zrównoważonego oraz niskoemisyjnego. Szczególnie widoczne jest wykorzystanie drewnianych materiałów budowlanych w architekturze energooszczędnej, harmonijnej, pasywnej itp.

Realizacja inwestycji budowlanych w technologii drewnianej będzie skutkować pozytywnym oddziaływaniem na środowisko poprzez:

- oszczędność surowców naturalnych,
- zmniejszenie energochłonności procesów technologicznych,
- zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów technologicznych oraz ich zagospodarowanie lub utylizację,
- zagospodarowanie niewykorzystanego surowca,
- odzyskiwanie i powtórne wykorzystanie materiałów budowlanych,
- zastępowanie materiałów i wyrobów budowlanych szkodliwych dla środowiska człowieka i środowiska przyrodniczego, materiałami "przyjaznymi" dla środowiska,
- utylizację materiałów nieodnawialnych w sposób zapewniający ochronę środowiska przyrodniczego.

Czy i w jaki sposób budownictwo drewniane wspierane jest w innych krajach?

Budownictwo drewniane, pomimo wielu zalet, nie cieszy się dużym powodzeniem w Polsce. W związku z tym, w opracowaniu przedstawiono szereg dobrych praktyk dotyczących mechanizmów wsparcia, wpływających na rozwój budownictwa drewnianego. Opisywane działania przyniosły pozytywne rezultaty w zakresie rozwoju rynku technologii drewnianych, w tym także rozwiązań innowacyjnych, a ponadto mogą być replikowane w części lub w całości w innych miastach i krajach. W związku z tym, że budownictwo drewniane najbardziej popularne jest w Kanadzie, Skandynawii oraz w Niemczech, w opracowaniu przedstawiono działania realizowane w tych krajach.

Pomimo tego, że w Kanadzie budownictwo drewniane jest bardzo popularne wciąż dąży się do rozwoju sektora budownictwa drewnianego, ale obecnie skupia się to głównie na zabudowie usługowej, w tym wysokościowej. Nacisk kładzie się na innowacyjność i popularyzację drewna w przestrzeniach, w których nie było ono do tej pory wykorzystywane.

Wśród programów wymienić można m.in.: Tall Wood Building Demonstration Initiative, Green Construction through Wood, które skupiają się na wsparciu finansowym budowy budynków w konstrukcji drewnianej, w głównej mierze o wielu kondygnacjach. Poza tym prowadzone są tam także programy: Canadian Wood Council, Ontario's Mass Timber skupiające się na doskonaleniu przepisów budowlanych, standardów i edukacji.

W Norwegii przemysł drzewny i budownictwo drewniane stały się ponownie ważnymi sektorami gospodarki, a drewno jako materiał budowlany jest postrzegane jako „modne” i ekologiczne. Bardzo często budynki realizowane w ramach zamówień publicznych zlecane są do wykonania właśnie w konstrukcji drewnianej. Poza tym realizowane są i były programy: Massive Wood, Norwegian Wood, nagroda Treprisen, Nagroda Deutscher Holzbaupreis, Innowacyjny Program Drzewny, skupiające się na wspieraniu budowania obiektów drewnianych. Ponadto modernizowane są budynki niemieszkalne w konstrukcji drewnianej w Hamburgu, przeprowadzane są kursy i szkolenia na uczelniach wyższych oraz organizowane są północno-niemieckie dni promocji budownictwa drewnianego z warsztatami w celu nauczania podstaw cyfrowej obróbki materiałów, wycieczką do „sztandarowych” obiektów drewnianych i z wykładami.

W Niemczech, obecnie, co szósty dom jest wykonany z drewna, a w Badenii-Wirtembergii nawet co trzeci. Stale rosnący trend wykorzystywania tego materiału budowlanego wiąże się m.in. z próbą rozwiązania problemu braku wystarczającej przestrzeni życiowej w miastach. Ze względu na swoje właściwości statyczne i ekologiczne powstaje tam coraz więcej wielopiętrowych konstrukcji drewnianych. W Niemczech realizowane są głównie działania miękkie dotyczące rozwoju kadry technicznej oraz promocji budownictwa drewnianego. Wprowadzane są także zmiany do lokalnego prawa w celu zmniejszenia trudności związanych z budową wysokich budynków drewnianych.

Czy i w jaki sposób administracja publiczna innych krajów propaguje idee budownictwa drewnianego wśród społeczeństwa?

Mała popularność budownictwa drewnianego spowodowana jest ograniczoną wiedzą i doświadczeniem w zakresie jego wykorzystania, a co za tym idzie brakiem wyspecjalizowanych, objętych systemem certyfikacji firm budowlanych, oferujących swoje usługi na wysokim poziomie. To, w połączeniu z drogim ubezpieczeniem budowanych domów, znacznie ogranicza dostęp do kapitału pozwalającego na realizację inwestycji deweloperskich, pozostawiając budownictwo drewniane w obszarze prywatnej zabudowy jednorodzinnej. Świadczy to jednocześnie o ogromnym, niezagospodarowanym jeszcze potencjale.

W związku z tym, iż istnieje wiele mitów i nieudomówień, m.in. wśród decydentów w instytucjach państwowych lub samorządowych odnośnie technologii budownictwa drewnianego, ale również wśród naszego społeczeństwa widoczne jest niezrozumienie korzyści wynikających z budowy domów w technologiach drewnianych. Właśnie ze względu na to wszelkie działania i przedsięwzięcia inwestycyjne, powinny być wspierane poprzez realizację działań tzw. miękkich, czyli działań, których efektem poszerzanie wiedzy, zwiększenie umiejętności czy wzmocnienie wizerunku. W przypadku budownictwa drewnianego zdecydowanie konieczny jest podział działań informacyjno-edukacyjnych na dwie grupy: działania kierowane do specjalistów z branży budowlanej oraz działania „ocieplające” wizerunek budownictwa drewnianego u ogółu społeczeństwa.

Jak opisano wcześniej w Kanadzie, Norwegii i w Niemczech podejmowane są również różnego rodzaju działania informacyjno-edukacyjno-promocyjne, których celem jest okazania zalet budownictwa drewnianego. Większość z nich skupia się jednak na działaniach branżowych, skierowanych do architektów i projektantów. Organizowane są obozy tematyczne, kursy i szkolenia na uczelniach wyższych, w jednym miejscu obiektów, wykonanych w konstrukcji drewnianej. Dobrym rozwiązaniem jest także utworzenie platformy dobrych praktyk, jak np. Wood for Good, ForestLearning czy też WoodSolutions dzięki której promowane jest wykorzystanie drewna w projektowaniu i budownictwie.

Innym rodzajem działań jest promocja istniejących lub realizowanych rozwiązań. W Norwegii i w Niemczech co roku lub co dwa lata przyznawane są nagrody za najciekawsze, innowacyjne i ekologiczne rozwiązania technologiczne przy zastosowaniu budownictwa drewnianego, jak np. Nagroda Treprisen lub Nagroda Deutscher Holzbaupreis.

Poza przykładami opisanymi w rozdziale 7, można wymieniać także przykłady z innych części świata. Jednym z nich jest kampania *Wood. Naturally Better*, której celem jest propagowanie zalet drewna oraz dotarcie do jak największej liczby odbiorców.

Zakończenie

Biorąc pod uwagę właściwości drewna można z tego materiału zbudować ekologiczne i energooszczędne budynki – konkurencyjne, jeśli chodzi o koszty inwestycyjne i utrzymania oraz

wysoki komfort użytkowania. Nowoczesne technologie drewniane oparte o prefabrykację i technologie modułowe pozwalają na budowę obiektów o wysokiej jakości, trwałości i bardzo krótkim czasie budowy. Niestety w Polsce wciąż budownictwo tego typu jest mało popularne. Wsparcie budownictwa jest zatem potrzebne, gdyż technologie drewniane w połączeniu z prefabrykacją idealnie wpisują się w wizję budownictwa niskoemisyjnego, spełniającego kryteria zrównoważonego rozwoju.



Załącznik 1.

2.2 Uzasadnienie wyboru metody LCA (Oceny w cyklu życia obiektu) i przyjętych kryteriów oceny

Jak już wspomniano, analiza w pełnym cyklu istnienia produktu, materiału, usługi czy budynku pozwala określić całkowite oddziaływanie na środowisko przedmiotu badań. Pojęcie LCA oznacza fizyczny opis zachowania się systemów przemysłowych, gdy do systemu wprowadza się surowce zaczerpnięte ze środowiska i energię, a wyprowadza zanieczyszczenia i odpady, które pozostają w środowisku, wpływając na zachodzące w nim procesy. Zainteresowanie produktem polega na badaniu emisji substancji odpadowych związanych z jego wytwarzaniem wykorzystaniem oraz składowaniem odpadów po zakończeniu użytkowania.

Analiza cyklu życia stanowi bardzo wszechstronne narzędzie i posiada szeroki zakres zastosowań. Do najważniejszych zalet techniki LCA należą m.in.: elastyczność, interdyscyplinarność, kompleksowość.

Do wad metody LCA można zaliczyć czasochłonność, kosztowność oraz złożoność analiz. Zakres informacji analizowanych metodą LCA oraz ich dostępność, stale się powiększa. Wraz ze wzrostem dostępnych danych i informacji wzrasta również precyzja analizy metodą LCA. W porównaniu z metodami standardowymi wielokryterialnymi LEED, BREEAM daje możliwość swobodnego kształtowania kryteriów oceny. Istnieje wiele narzędzi informatycznych wspomagających zastosowanie LCA, między innymi w budownictwie.

Ze względu na kompleksowość metody LCA możliwe jest zdefiniowanie najbardziej efektywnego gospodarowania zasobami zarówno pod względem ekologicznym, jak i ekonomicznym. Zatem LCA stanowi bardzo dobre narzędzie w opracowywaniu sposobów zmniejszenia zużycia surowców naturalnych i energii w budownictwie i dlatego postanowiono ją wybrać w niniejszej pracy.

Biorąc pod uwagę ww. wady i zalety metody LCA zdecydowano się na porównanie technologii budownictwa drewnianego z budownictwem murowanym poprzez określenie wielkości:

- skumulowanej energii pierwotnej,
- śladu węglowego,
- odpadów nie możliwych do dalszego efektywnego przetworzenia.

Poniżej zestawiono wybrane na potrzeby niniejszej ekspertyzy kryteria oceny LCA.

2.2.1 Skumulowana energia pierwotna

Podczas wyznaczania wartości skumulowanej energii pierwotnej zazwyczaj rozpatruje się wszystkie procesy wykorzystujące energię w cyklu życia budynku. Czasami pomija się fazę rozbiórki obiektu i fazę remontów.

2.2.2 Ślad węglowy

W analizie emisji dwutlenku węgla do atmosfery uwzględnia się wszystkie procesy wykorzystujące energię. Wartość początkowej skumulowanej emisji CO₂ do atmosfery (C_p) to suma:

- emisji dwutlenku węgla produkowanej podczas produkcji materiałów (CM),
- emisji dwutlenku węgla produkowanej podczas transportu materiałów na plac budowy (CT),
- emisji dwutlenku węgla powstającej podczas wznoszenia obiektu (C_w) [4].

Duże rozbieżności można spotkać w przypadku określenia energii skumulowanej dla drewna oraz skumulowanej emisji CO₂. Na przykład wspomniana energia skumulowana waha się między 0,511 a 10,412 [MJ/kg]. W przypadku emisji CO₂ różnice mogą wynikać z faktu brania pod uwagę emisji lub pochłaniania dwutlenku węgla.

2.2.3 Odpady

Budownictwo jest wysoce materiałochłonną gałęzią gospodarki. Wykonanie nowych oraz remonty istniejących obiektów budowlanych wymagają znacznego zużycia surowców i wyrobów budowlanych. Jednocześnie w obu przypadkach powstają odpady budowlane, jakkolwiek skala tego zjawiska przy remontach obiektów, a w szczególności całkowitych rozbiórkach, jest zdecydowanie większa. Ze względu na fakt, iż odpady powstają na różnych etapach budowlanych, możliwości zapobiegania ich powstawaniu są ściśle powiązane ze stosowaną technologią. Przystępując do prac budowlanych należy mieć na uwadze zachowanie zasady:

- optymalizacji zużycia surowców budowlanych,
- stosowania nowoczesnych urządzeń i maszyn charakteryzujących się tzw. technologią bezodpadową lub małodpadową,
- przestrzegania parametrów procesów technologicznych,
- analizowania i weryfikacji stosowanych technologii i norm zużycia materiałów pod kątem ograniczenia ilości odpadów.

Jako kryterium oceny LCA dla danej technologii budowy domów przyjęto kryterium zagospodarowania odpadów, ponieważ:

- zgodnie z wytycznymi Unii Europejskiej w 2020 roku ponownie przetwarzanych ma być aż 70 proc. odpadów budowlanych.
- analizy amerykańskiego stowarzyszenia Building Materials Reuse Association pokazują, że aż 85 proc. tego, z czego zbudowany jest przeciętny budynek, można użyć jeszcze raz.
- podczas budowy nowych obiektów i remontów istniejących powstają odpady w różnej postaci - gruz, złom metalowy, szkło, elementy konstrukcji itp., które, w myśl koncepcji zrównoważonego rozwoju, należy zagospodarować, co przynosi korzystne efekty ekonomiczne.
- poczynając od budowy obiektu, przez remonty, ewentualną przebudowę aż po wyburzenia, we wszystkich etapach możliwy jest odzysk surowców i wyrobów budowlanych.

Efektywna gospodarka odpadami budowlanymi jest elementem racjonalnego wykorzystania zasobów w budownictwie oraz zmniejszenia negatywnego wpływu procesu budowlanego na środowisko w całym cyklu życia obiektu budowlanego. Dlatego w obrębie całego cyklu życia obiektu budowlanego należy mieć na względzie problematykę zagospodarowania odpadami budowlanymi.

2.3 Charakterystyka technologii budowy domów drewnianych

Drewniany budulec dominował w polskich miasteczkach i wsiach od zarania dziejów do połowy dziewiętnastego wieku, kiedy to zaczął być wypierany w pierw przez cegłę i kamień, a następnie przez stal i żelbet. Jeszcze w połowie XX wieku (zgodnie z danymi statystycznymi z 1957 roku) od 75% do 90% wiejskich budynków wykonanych było w technologii drewnianej. Najstarsze, zachowane w znacznej części w oryginalnej konstrukcji i formie, budowle całkowicie drewniane pochodzą

z połowy XV wieku. Są to drewniane kościoły na południu Polski, między innymi w Haczowie i Dębnie¹⁵.

Pierwotnie budynki wykonywane były w konstrukcji zrębowej (wieńcowej) oraz sumikowo-łatkowej, zarówno w Europie jak i na świecie. Oba typy konstrukcji bazują na ścianach zbudowanych z poziomo układanych bali drewnianych, o grubości zapewniającej odpowiednią izolacyjność termiczną. W średniowiecznej Europie zaczęto wznosić pierwsze domy o konstrukcji szkieletowej. W Polsce nastąpiło to w XII wieku¹⁶. Konstrukcje takie charakteryzowały się początkowo ciężkim szkieletem drewnianym, wypełnionym materiałem izolacyjnym. Zmniejszanie ciężaru szkieletu pozwoliło na łatwiejsze konstruowanie budynków o większych wysokościach, zużywających mniej materiału drzewnego.

Koncepcja współczesnych domów o konstrukcji szkieletowej została zapoczątkowana w Polsce na początku lat 90. ubiegłego wieku, bazując na technologii opracowanej przede wszystkim w Ameryce (USA i Kanadzie) i Skandynawii, a także w Niemczech i Austrii. Konstrukcja tego typu domów składa się ze szkieletu z drewna iglastego, wypełnionego wełną mineralną lub innym materiałem izolacyjnym¹⁷.

Ze specyficznej budowy materiału, jakim jest drewno, wynikają jego cechy fizyczne i mechaniczne. Substancja komórkowa tworząca drewno składa się przede wszystkim z celulozy, hemicelulozy oraz ligniny i charakteryzuje się stałym ciężarem właściwym równym około 1500 kg/m³. Poszczególne gatunki różnią się jednak ciężarem i innymi własnościami fizycznymi, co wynika z występowania w drewnie systemu mikroskopowych naczyń kapilarnych, mających istotny wpływ na wilgotność elementów. Zachowanie odpowiedniej wilgotności drewna w procesie produkcyjnym pozwala na wykonanie elementów o optymalnych własnościach oraz przeciwdziałanie ich późniejszej degradacji na skutek pęknięcia czy paczzenia.

Konstrukcje drewniane charakteryzują się również bardzo dobrymi parametrami termicznymi. Podstawowym parametrem określającym jakość przegrody budowlanej, zgodnie z obowiązującymi w Polsce przepisami, jest współczynnik przenikania ciepła przez przegrodę. Jest on nierozdzielnie związany ze współczynnikami przewodzenia ciepła materiałów, z których dana przegroda jest wykonana. W warunkach średniej wilgotności współczynnik przewodzenia ciepła sosny i świerku wynosi 0,16 W/(mK), muru z cegły kratówki 0,56 W/(mK), natomiast żelbetu 1,70 W/(mK). Oznacza to, że drewno jako materiał ma bardzo dobre parametry izolacyjności termicznej. Dodatkowo charakteryzuje się stosunkowo wysoką pojemnością cieplną (tj. dłużej utrzymuje nagromadzone ciepło.), porównywalną z pojemnością bloków silikatowych, a wyższą od pustaków ceramicznych.

W naturalnym drewnie występują jednak wady. Można je podzielić na dwie grupy w zależności od czasu powstania. Wady pierwotne, takie jak sęki czy zakorki, tworzą się podczas wzrostu drzewa natomiast wady wtórne powstają po ścięciu drzewa podczas jego transportu czy obróbki. Wady wtórne można eliminować ulepszając proces produkcyjny, jednak wady pierwotne są trudne

¹⁵ Tłoczek, I. "Polskie budownictwo drewniane". Zakład Narodowy Imienia Ossolińskich, Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańsk, 1980

¹⁶ Mielnik, W. "Drewno w nowoczesnej konstrukcji architektury sakralnej: czas budowy, koszt eksploatacji, bezpieczeństwo", in *Holzbauforum Polska* 2018, 2018, pp. 197–211

¹⁷ Major, I., Różycka, J. "Współczesne domy drewniane - budynki o zoptymalizowanym potencjale energetycznym", *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*, 1(13), pp. 63–70, 2014

do usunięcia w standardowym budownictwie drewnianym, bazującym na wykorzystaniu elementów wykonanych z drewna litego.

Współczesne budownictwo drewniane ukierunkowane jest na eliminowanie wad standardowego budownictwa drewnianego. Stosowanie drewna klejonego wzdłużnie pozwala na uzyskiwanie litych elementów drewnianych o wymaganych długościach. Są one najczęściej stosowane w konstrukcjach szkieletowych. Klejenie wzdłużne umożliwia również produkcję lameli, z których w procesie klejenia uzyskiwane są elementy drewna klejonego warstwowo. Są to belki, słupy czy całe ramy, które w Polsce najczęściej stosowane są w halach wymagających dużych rozpiętości, takich jak hale basenowe czy handlowe. Warto zaznaczyć, że historię elementów z drewna klejonego warstwowo rozpoczyna patent niemieckiego stolarza i przedsiębiorcy Otto Hetzera, uzyskany w roku 1906. Ponad pół wieku później roczna konsumpcja drewna klejonego warstwowo na rynku niemieckim wynosiła około 10 tys. m³, natomiast do 2010 r. wzrosła do wartości około 1 mln m³.

W światowej nauce i rynku technologicznym prowadzone są również intensywne prace nad rozwojem drewna klejonego krzyżowo, w którym w odróżnieniu od elementów wykonanych z drewna klejonego warstwowo, kolejne lamele różnią się kierunkiem włókien o 90°, co pozwala uzyskiwać płyty drewniane o bardzo dobrych parametrach wytrzymałościowych, przy jednoczesnej dbałości o środowisko. Można je bowiem wykonywać również z desek drewnianych, które w innym przypadku potraktowane byłyby jako odpad.

Podstawowymi zaletami konstrukcji wykonanych z elementów drewnianych jest ich lekkość jak również, co może istotniejsze, wysoki stosunek wytrzymałości do ciężaru. Własność ta znacznie ułatwia transport elementów. Budynki wykonane z drewna charakteryzują się dobrymi parametrami cieplnymi. Dzięki ograniczeniu występowania mostków termicznych (czyli miejsc o zwiększonej przewodności cieplnej przegrody), dobrej szczelności i własnościach wentylacyjnych drewna są również bardziej energooszczędne przy jednoczesnie niższych kosztach inwestycyjnych. Możliwość częściowej prefabrykacji zwiększa dokładność wykonania elementów, co przekłada się na ich estetykę oraz parametry termiczne i wytrzymałościowe. Poza wymienionymi, ograniczenie robót wymagających zastosowania wody (tzw. robót mokrych) tylko do wykonania fundamentów pozwala na przyspieszenie czasu budowy oraz możliwość wznoszenia obiektów praktycznie o każdej porze roku¹⁸. Dodatkowo, istotnym aspektem, który jest często pomijany, jest odporność ogniowa zarówno wielkowieńcowych konstrukcji drewnianych jak i domów z bali. Wbrew powszechnie panującej opinii jest ona kilkukrotnie większa od elementów wykonanych z niechronionej stali, która to szybko traci nośność w wysokiej temperaturze¹⁹.

2.3.1 Technologia budowy domów z bali

Historyczne domy z bali wykonane były w konstrukcji wieńcowej lub sumikowo-łątkowej. W pierwszej odpowiednio wyprofilowane na końcach wieńce z bali drewnianych układane są jeden na drugim, tak by wykonane wcześniej zamki łączyły się w narożach (węglach) usztywniając konstrukcję. Belki zazwyczaj są ze sobą łączone kołkami – tyblami, chroniącymi je przez przesunięciem. Konstrukcja sumikowo-łątkowa natomiast jest jednym z rodzajów konstrukcji szkieletowej. Powstaje przez wsunięcie sumików – poziomych bali – w pionowe wyźłobienia

¹⁸ Major, I., Różycka, J. "Współczesne domy drewniane - budynki o zoptymalizowanym potencjale energetycznym", *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*, 1(13), pp. 63–70, 2014

¹⁹ Przepiórka, J. "CLT – drewno klejone krzyżowo", *Fachowy Dekarz & Ciesla*, 4, pp. 64–65, 2018

w łątkach – słupkach, które natomiast usztywnione są dwiema poziomymi belkami – na dole podwaliną, u góry oczepem. Szczeliny wypełnione są słomą, pakulami czy sznurem²⁰. W przypadku obu typów konstrukcji elementy nośne dachu oraz belki stropowe oparte są na balu oczepowym. Tak wykonana struktura zapewnia odpowiednie ocieplenie wnętrza budynku i ochronę przed warunkami atmosferycznymi.

Dzięki postępującej technologii obecny rynek oferuje wiele rozwiązań nawiązujących do tradycyjnych domów wykonanych z bali. Oprócz konstrukcji zbudowanej z bali pełnych, to znaczy wykonanych z litego drewna, spotkać można bale klejone oraz konstrukcje warstwowe imitujące bale.

W przypadku budownictwa współczesnego należy zwrócić uwagę na stosowane nazewnictwo. Według nomenklatury wprowadzonej przez polskie normy²¹ elementy o przekrojach o grubościach od 50 mm do 100 mm nazywane są balami, natomiast elementy grubsze (powyżej 100 mm) to krawędziaki i belki. Potocznie jednak określenie „dom z bali” odnosi się do budynków wykonanych z elementów drewnianych o przekrojach o grubości od 50 mm, układanych warstwowo i stanowiących główną konstrukcję nośną.

Konstrukcja w systemie tradycyjnym może być wzniesiona z elementów o różnych przekrojach: okrągłym, prostokątnym czy z jednej strony zaokrąglonym a z drugiej płaskim – w zależności od wymagań inwestora. Podstawową wadą tego typu elementów jest tendencja litego drewna do pęknięcia oraz pęcznienia podczas procesu wysychania. Aby temu zapobiec proponowane są wieńce sklejone warstwowo z elementów o mniejszych przekrojach. Rozwiązanie takie pozwala na wykonanie elementów konstrukcji w przypadku braku dostępu do elementów o przekrojach większych oraz zmniejsza ryzyko zmiany geometrii wraz ze zmianą wilgotności drewna. Należy jednak zwrócić szczególną uwagę na dokładność klejenia, gdyż tego typu połączenia są podatne na rozwarstwianie. Istotną zaletą domów drewnianych jest natomiast ich zdolność do „oddychania”. Struktura drewna umożliwia wymianę powietrza między poszczególnymi pomieszczeniami oraz między wnętrzem i zewnątrz, zachowując izolacyjność cieplną. Poziom wilgotności pomieszczeń w sposób naturalny utrzymywany jest w zgodzie z miejscowym mikroklimatem. Poza pomieszczeniami kuchennymi i sanitarnymi, w których zwiększony jest poziom wilgotności, nie ma więc potrzeby wykonania instalacji wentylacyjnych.

Zgodnie z warunkami technicznymi jakim powinny odpowiadać budynki²² od 1 stycznia 2017 roku maksymalny współczynnik przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych wynosi $U=0,23 \text{ W/m}^2/\text{K}$. Oznacza to, że budynek wykonany z litych elementów drewnianych, spełniający obowiązujące w Polsce wymagania komfortu cieplnego powinien mieć ściany o minimalnej grubości około 70 cm. Rachunek ten nie uwzględnia jednak innych, korzystnych, właściwości drewna, jakimi jest między innymi wysoka pojemność cieplna. Przeprowadzone w Kanadzie i Stanach Zjednoczonych badania dowodzą, że ściany o wyższym współczynniku przenikania ciepła i jednocześnie wysokiej pojemności cieplnej, czyli na przykład ściany z bali, mogą mieć roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na energię pierwotną porównywalne ze ścianami o niższym współczynniku przenikania i jednocześnie niskiej

²⁰ Tauszyński, K. "Budownictwo Ogólne". Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 1977

²¹ PN-D-94021:2013-10. Tarcica konstrukcyjna iglasta sortowana metodami wytrzymałościowymi", 2013

²² "Rozporządzenie Ministra z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Tekst jednolity z dnia 7 czerwca 2019 r.", Dz.U., poz. 1065

pojemności cieplnej (przykładowo ściany o konstrukcji szkieletowej)^{23,24}. Oznacza to, że, mimo niespełnienia obowiązujących przepisów, ściany wykonane z bali o mniejszych grubościach zapewniają odpowiedni komfort cieplny. Zgodnie z klasyfikacją przedstawioną przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Budowniczych z Bali (z ang. *International Log Builders Association*) minimalna średnica bali odpowiednia do budownictwa mieszkaniowego to 25 cm^{25,26}. Dodatkowym aspektem działającym na korzyść domów z nieizolowanych bali jest fakt, że opór cieplny drewna rośnie wraz ze spadkiem temperatury. O dobrych własnościach termicznych tego typu budynków świadczyć powinien fakt ich popularności na przykład w krajach skandynawskich.

Aby budynek z bali był zgodny z obowiązującymi w Polsce przepisami dotyczącymi izolacyjności termicznej niezbędne jest wykonanie ocieplenia. Przegroda wykonana z bali o grubości 15 cm i piętnastocentymetrowej warstwy wełny mineralnej charakteryzuje się współczynnikiem przenikania ciepła porównywalnym ze ścianą z bali o grubości 70 cm. W domach z bali ocieplenie wykonywane jest najczęściej po stronie wewnętrznej, w celu zachowania walorów estetycznych elewacji. Izolacja termiczna montowana jest w obrębie dodatkowej konstrukcji szkieletowej (również drewnianej) i osłonięta jest płytami gipsowo-kartonowymi, deskami lub imitacjami bali. Możliwe jest też wykonanie ściany jako warstwowej, w której między dwiema warstwami z elementów drewnianych o grubości do 10 cm umieszcza się materiał izolacyjny. Ponadto rynek oferuje elementy warstwowe imitujące bale. Wykonane są one na przykład z pianki poliuretanowej z zewnątrz otoczonej drewnem.

Niezależnie od typu konstrukcji, bale drewniane układane są na uprzednio przygotowanym fundamencie, od którego powinny być odizolowane w celu zabezpieczenia ich przed wilgocią. Wykonanie fundamentów jest jedynymi robotami mokrymi wykonywanymi na placu budowy. Pozostałe elementy mogą być przygotowane i montowane w dowolnej porze roku.

Należy jednak zwrócić uwagę na wilgotność drewna dostarczanego na budowę. Za drewno w stanie suchym uważane są elementy o wilgotności do 18%. Drewno o wyższej wilgotności określane jest mianem mokrego. Domy z bali litych można wykonywać zarówno z drewna suszonego (sezonowanego lub suszonego komorowo) i niesuszonego, zwanego „zielonym”. Drewno zielone schnie dopiero w trakcie użytkowania domu. W procesie wysychania drewno zmniejsza swoją objętość, co prowadzi do osiadania budynku. Przyjmuje się, że wymiary drewna zielonego zmniejszają się nawet o 6%, gdy osiąga wilgotność drewna suchego. Ponadto w elementach skrępowanych w konstrukcji ściany podczas wysychania (gdy dodatkowo warunki nie są kontrolowane tak jak w komorach suszenia) pojawiają się znaczne splekania i takie elementy mają tendencję do paczenia i skręcania.

Niezależnie od wilgotności drewna z jakiego wykonany jest dom, należy uwzględnić osiadanie i pracę konstrukcji nośnej podczas zmian wilgotności. Odbywa się to poprzez zastosowanie odpowiedniego sposobu mocowania ościeżnic okiennych i drzwiowych oraz elementów ocieplenia i wykończenia, pozwalającego na swobodny ruch konstrukcji nośnej względem tych elementów. Podobnie sprawa się ma w stosunku do elementów, które nie podlegają zmianom geometrii podczas zmiany wilgotności, czyli na przykład kominów.

²³ Arumi-Noe, F. "Thermal inertia in architectural walls". *National Concrete Masonry Association*, 1977

²⁴ Nitka, W. "Izolacyjność cieplna domów z bali", *Inżynier budownictwa* (10), 2014

²⁵ *iw.*

²⁶ *iw.*

2.3.2 Technologia budowy szkieletowych konstrukcji drewnianych

Drewniane budownictwo szkieletowe ma na świecie bardzo długą historię. W Europie, w tym w Polsce, pierwsze domy drewniane o konstrukcji szkieletowej zaczęto wznosić już w średniowieczu, kiedy to popularność zyskały takie konstrukcje jak mur pruski czy szachulec.

Współczesne budownictwo szkieletowe wywodzi się od tzw. technologii *Timber Framing*. Wznoszone w tej technologii budynki charakteryzował ciężki szkielet drewniany, wykonywany na placu budowy przez wyspecjalizowanych konstruktorów. Ze względu na duże przekroje elementów stosowanych w tym systemie, proces budowy był niezwykle praco- i czasochłonny. Z tego też względu, z czasem zaczęto używać lżejszych elementów o mniejszych przekrojach, a wymaganą sztywność przestrzenną obiektu uzyskiwano dzięki odpowiedniemu ich zagęszczeniu. Tak powstała technologia lekkiego szkieletu drewnianego, która stworzyła podwaliny pod dwa nowe typy budownictwa szkieletowego: konstrukcję balonową (z ang. *Balloon Framing*) i konstrukcję platformową (z ang. *Platform Framing*). Pierwsza z nich, stworzona na początku XIX wieku, charakteryzowała się występowaniem ciągłych słupków, zaczynających się na podwalinie i biegnących przez wszystkie kondygnacje aż do górnego oczepu podtrzymującego krokwie. Drugi wariant zaczął się wykształcać w połowie XX wieku i wprowadził zmiany w kolejności wykonywanych prac – najpierw wznoszono ściany danego piętra, a następnie strop ponad nim i tak aż do poddasza.

Obecnie szkieletowe budownictwo drewniane cieszy się największą popularnością w Ameryce, gdzie szkielet drewniany stanowi zdecydowaną większość wznoszonych budynków mieszkalnych. Technologia ta jest tam stosowana nie tylko w przypadku małych domów, ale i imponujących wielkością rezydencji o powierzchni sięgającej 300 m². Wśród krajów europejskich, stosujących technologię szkieletu drewnianego, dominują Niemcy i kraje skandynawskie. W Polsce wciąż najczęściej wznosi się domy tradycyjne, murowane, jednak drewniane budownictwo szkieletowe z roku na rok zyskuje coraz większe zainteresowanie. Co ciekawe, Polska jest jednym z większych producentów domów szkieletowych z drewna w Europie – większość z nich jest jednak eksportowana.

Warto mieć na uwadze, że pod pojęciem drewnianego budownictwa szkieletowego kryją się różne technologie, wśród których dominują dwie: lekka technologia kanadyjska oraz technologia domów prefabrykowanych. Technologie te różnią się zarówno pod względem konstrukcji budynku, sposobu i czasu budowy, jak i trwałości.

Domy wznoszone w technologii lekkiego szkieletu kanadyjskiego, popularnie zwane „kanadyjczykami”, cieszą się ogromną popularnością zarówno w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie, jak i w krajach europejskich, głównie w Skandynawii, Niemczech i Austrii. Również na polskim rynku funkcjonują firmy oferujące budowę domów w technologii kanadyjskiej.

Konstrukcję lekkiego domu szkieletowego wykonuje się na placu budowy. W zakresie posadowienia budynku stosuje się typowe rozwiązania – zwykle są to ławy, ściany lub płyty fundamentowe. Pomimo niewielkiego ciężaru szkieletu drewnianego, fundamenty powinny zostać zaprojektowane w tradycyjny sposób, zapewniający odpowiednią trwałość, z uwzględnieniem założonych obciążeń i nośności gruntu. Głębokość posadowienia powinna być nie mniejsza niż głębokość przemarzania w miejscu budowy.

Bardzo ważny jest odpowiedni dobór drewna, z którego powstanie szkielet. Zwykle stosuje się tarcicę sosnową lub świerkową o minimalnej klasie wytrzymałości (klasy wytrzymałości wg normy²⁷) C24, przy czym najbardziej zalecana jest klasa C30. Zgodnie z normą²⁸, drewno nie powinno zawierać śladów kory, zgnilizny ani śladów po owadach, a naturalne wady drewna takie jak: sęki, pęknięcia itp. powinny być ograniczone do określonych w normie wielkości.

W budownictwie szkieletowym używa się drewna suszonego komorowo, czterostronnie struganego i fazowanego. Suszenie komorowe ma za zadanie zapewnienie odpowiedniej wilgotności tarcicy i pozbawienie jej zarodników grzybów i pleśni oraz larw owadów. Zgodnie z Załącznikiem Krajowym do normy²⁹, wilgotność drewna przywiezionego na budowę, przeznaczonego do zabudowania, nie powinna przekraczać 18%. Odpowiednio wysuszone drewno nie jest atakowane przez szkodniki i nie musi być impregnowane. Suszenie komorowe zatrzymuje też proces sinienia drewna.

Struganie jest obróbką polegającą na wygładzaniu powierzchni belek i desek, co z jednej strony zwiększa dokładność wymiarową, z drugiej – zmniejsza podatność drewna na działanie ognia. Fazowanie z kolei polega na ścinaniu kantów belek i desek w celu zwiększenia odporności ogniowej drewna. Oba te procesy chronią jednocześnie drewno przed niepożądanymi zjawiskami skurczu i pęcznienia.

Tarcica stosowana do budowy lekkich domów szkieletowych powstaje z połączenia krótkich elementów drewnianych przy zastosowaniu tzw. mikrowczepów. Technika ta pozwala uzyskiwać belki o bardzo dużej długości, odporne na skręcanie.

W technologii lekkiego szkieletu kanadyjskiego konstrukcja ścian nośnych³⁰ składa się z układu słupków drewnianych w rozstawie 40÷60 cm, opartych na poziomej belce, zwanej podwaliną. Stosuje się podwalinę z drewna impregnowanego ciśnieniowo, o szerokości równej szerokości słupków, łączoną z podłożem za pomocą metalowych kotew. Podwalina powinna być odizolowana od podłoża betonowego poprzez zastosowanie izolacji poziomej, np. w postaci folii budowlanej lub papy izolacyjnej. Od góry słupki montuje się do poziomych elementów konstrukcyjnych, zwanych oczepami. Stosuje się zazwyczaj podwójny oczep – jeden służy do przytwierdzenia słupków, drugi, poprzez spięcie stropu, zapewnia sztywność przestrzenną całej konstrukcji. Słupki łączy się z poziomymi elementami konstrukcyjnymi przy użyciu łączników metalowych, takich jak gwoździe czy śruby.

Otwory okienne konstruuje się, stosując po jednej parze słupków z każdej strony otworu. Na wewnętrznych słupkach opiera się nadproże, którego wysokość zależy od wielkości otworu i przenoszonych obciążeń. U dołu otworu okiennego stosuje się parapet oparty na pionowych elementach szkieletu.

Przestrzeń pomiędzy szkieletem drewnianym wypełnia się materiałem izolacyjnym, który chroni przed zimnem, wilgocią i hałasem. Powszechnie stosuje się płyty z wełny mineralnej, a także materiały oparte na włóknach drzewnych. Coraz większą popularnością cieszą się też takie produkty jak pianka poliuretanowa i wtłaczany granulata celulozowy. Niezależnie od materiału, grubość izolacji uzależniona jest od szerokości słupków zastosowanych w ścianach zewnętrznych. Dodatkowo

²⁷ "PN-EN 338:2016-06. Drewno konstrukcyjne. Klasy wytrzymałości", Polski Komitet Normalizacyjny, p. 13, 2016

²⁸ "PN-D-94021:2013-10. Tarcica konstrukcyjna iglasta sortowana metodami wytrzymałościowymi", 2013

²⁹ "PN-EN 1995-1-1:2010. Eurokod 5. Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne. Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków", Polski Komitet Normalizacyjny, p. 128, 2010

³⁰ Nitka, W. "Szkieletowy dom drewniany". Centrum Budownictwa Drewnianego, 2019

stosuje się warstwę wiatroizolacji od zewnątrz oraz paroizolacji od środka budynku. Zadaniem folii wiatroizolacyjnej jest ochrona ścian przed wychładzaniem spowodowanym przez wiatr, a także ochrona elementów drewnianych przed napływem wilgoci z zewnątrz, przy jednoczesnym zapewnieniu przepływu pary wodnej zgromadzonej w ścianach na zewnątrz budynku. Wewnętrzna paroizolację stosuje się z kolei w celu ograniczenia przepływu pary wodnej z wnętrza budynku do wnętrza ścian.

Ważnym elementem konstrukcji jest również poszycie, które usztywnia szkielet drewniany, zwiększając jednocześnie izolacyjność akustyczną ściany. Jako poszycie stosuje się najczęściej wodoodporne płyty drewnopochodne, np. płyty wiórowe, włóknowo-gipsowe czy włóknowo-cementowe, które mocuje się do szkieletu drewnianego za pomocą gwoździ lub zszywek. Stosowane łączniki powinny być odporne na korozję. Wykończenie ścian zewnętrznych może być wykonane w dowolny sposób. Do najpopularniejszych należy tynk na warstwie styropianu, ale możliwe są też inne rozwiązania – np. okładziny drewniane czy ceglane. Ściany od wewnątrz wykańcza się najczęściej płytami gipsowo-kartonowymi, można też stosować okładziny drewniane.

W technologii lekkiego szkieletu drewnianego konstrukcję stropu³¹ tworzą belki stropowe i prostopadłe do nich belki czołowe, wieńczące strop. Opierają się one na podwalinie (w przypadku stropu dolnego) lub na oczepach (w przypadku stropu wyższych kondygnacji). Belki stropowe podpierane są przez dodatkowe elementy konstrukcyjne, zwane podciągami, a przed wybočeniami zabezpieczają je międzybelkowe przewiązki oraz płyty poszycia. Poszycie stropu wykonuje się z wodoodpornych materiałów drewnopochodnych. Płytę poszycia należy odizolować od belek stropowych, aby zapobiegać skrzywieniu podłogi – jako izolację można zastosować np. podkładki gumowe, taśmy akustyczne czy też specjalistyczne elastyczne kleje.

Dachy stosowane w drewnianym budownictwie szkieletowym z pozoru przypominają tradycyjne więźby wykonywane w budynkach murowanych. Powszechne są tu trzy rozwiązania konstrukcyjne: więźba krokwiowa i krokwiowo-jętkowa oraz prefabrykowane wiązary kratowe. Spotyka się dachy o różnych kształtach: dwu-, cztero- i wielospadowe. W przeciwieństwie jednak do budownictwa tradycyjnego, ze względu na mniejszy rozstaw elementów, konstrukcję dachu wykonuje się z tarcicy o mniejszych przekrojach, przywiązując jednocześnie większą wagę do jakości użytego drewna. Głównym elementem konstrukcyjnym dachu są krokwie, które kotwi się w oczepach ścian zewnętrznych. Krokwie przenoszą bezpośrednio obciążenia wiatrem i śniegiem, a także ciężar pokrycia. Więźbę dachową usztywnia poszycie, wykonane – podobnie jak w przypadku ścian i stropów – z wodoodpornych płyt drewnopochodnych. Pokrycie dachu może być dowolne, popularnym rozwiązaniem są: papa, dachówka bitumiczna oraz gont.

Lekka konstrukcja szkieletowa ma wiele zalet. Przede wszystkim jest to szybkość budowy – sama konstrukcja budynku powstaje zwykle w dwa-trzy miesiące. Ponadto technologia ta daje inwestorowi nieograniczone wręcz możliwości w aranżacji przestrzeni, domy kanadyjskie można łatwo przebudowywać i rozbudowywać. Dzięki mniejszej grubości ścian w porównaniu do tradycyjnych domów murowanych, uzyskuje się większą powierzchnię użytkową przy tych samych wymiarach zewnętrznych. Ponadto lekkie domy szkieletowe mają bardzo dobre parametry termoizolacyjne. Przy zastosowaniu odpowiednich rozwiązań w zakresie materiałów izolacyjnych, systemów instalacji, a także prawidłowe zaprojektowanie detali konstrukcyjnych, możliwe jest uzyskanie budynku w standardzie energooszczędnym, a nawet pasywnym. Wymagane dla tych standardów współczynniki przenikania ciepła przez przegrody zewnętrzne uzyskuje się między innymi poprzez

³¹ *jm.*

zastosowanie dodatkowej warstwy izolacji od wewnątrz, a także zwiększenie grubości okładziny elewacyjnej. Poprawnie zaprojektowany i wykonany dom szkieletowy ma też dobre własności w zakresie izolacyjności akustycznej. Ważne jest jednak zadbanie o takie szczegóły jak: odpowiednio dobrany rozstaw słupków, dobra izolacja wypełniająca szkielet czy też elastyczne zamocowanie płyt poszycia³². Wśród zalet drewnianych budynków szkieletowych trzeba też wymienić dobrą odporność ogniową przegród³³. Powszechnie stosowane w tej technologii poszycie wewnętrzne z płyt gipsowo-kartonowych opóźnia oddziaływanie ognia na elementy konstrukcji. Możliwe jest również zastosowanie specjalnej płyty o podwyższonej odporności ogniowej, która jeszcze bardziej chroni drewno przed ogniem. Przy typowym rozwiązaniu ściany szkieletowej z zastosowaniem tej właśnie płyty możliwe jest uzyskanie odporności ogniowej nawet rzędu 90 min (ściana nośna) i 120 min (ściana działowa)³⁴.

Opisana technologia lekkich konstrukcji szkieletowych nie jest jedyną formą drewnianego budownictwa szkieletowego. Do tego typu konstrukcji można zaliczyć również drewniane domy prefabrykowane, czyli tzw. domy gotowe. Są to domy, których poszczególne elementy, np. ściany czy stropy, są produkowane w zakładzie prefabrykacji, a następnie transportowane na plac budowy i montowane na uprzednio wykonanym fundamencie.

Istnieją różne odmiany prefabrykacji, różniące się zakresem robót wykonywanych w zakładzie, a także stosowanymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi i materiałowymi. W najbardziej rozwiniętym wariantcie, prefabrykacją objęty jest montaż praktycznie wszystkich elementów, tj.: drewnianej konstrukcji ścian wraz z izolacją cieplną, paro- i wiatroizolacją, warstw poszycia zewnętrznego i wewnętrznego, stolarki okiennej i drzwiowej wraz z parapetami zewnętrznymi i wewnętrznymi, instalacji elektrycznej, a nawet okładziny zewnętrznej, np. tynku. Prefabrykacji podlegają również, oprócz samych ścian, stropy międzykondygnacyjne oraz konstrukcja dachu.

Do głównych zalet tej technologii, poza wymienionymi zaletami budynków o lekkiej konstrukcji szkieletowej, należy bardzo krótki czas budowy – montaż elementów prefabrykowanych domu do stanu zamkniętego trwa zaledwie kilka dni, a więc gotowy dom można odebrać już po dwóch-trzech miesiącach od rozpoczęcia montażu. Ponadto, dzięki sprzyjającym warunkom panującym w zakładach prefabrykacji, uzyskuje się dużą dokładność wykonania elementów, znacznie większą niż w przypadku montażu szkieletu na placu budowy. Domy prefabrykowane mają też bardzo dobre właściwości termoizolacyjne, mogą zostać wykonane w standardzie domów energooszczędnych, a nawet pasywnych. Standard ten uzyskuje się dzięki ograniczeniu strat ciepłych, pozyskiwaniu ciepła z otoczenia, a także kumulowaniu go wewnątrz budynku. Do niewątpliwych zalet gotowych domów należą też: stały, z góry określony całkowity koszt wzniesienia budynku, a także możliwość dostosowania gotowych rozwiązań do własnych potrzeb poprzez modyfikację projektu typowego.

2.3.3 Technologia budowy domów z drewna klejonego warstwowo lub krzyżowo

Drewno klejone warstwowo (ang. *Glued Laminated Timber*) powstaje poprzez sklejenie kilku warstw lameli drewnianych. Otrzymuje się w ten sposób materiał konstrukcyjny o bardzo dobrych parametrach mechanicznych i doskonałym stosunku wytrzymałości do ciężaru.

³² Nitka, W. "Wymagania techniczno-montażowe dla drewnianego budownictwa szkieletowego". Centrum Budownictwa Szkieletowego, Gdańsk, 2010

³³ Nitka, W. "Szkieletowy dom drewniany". Centrum Budownictwa Drewnianego, 2019

³⁴ *jaw.*

Historia tego materiału³⁵ sięga drugiej połowy XIX wieku, kiedy to wzniesiono budynek auli King Edward College w Southampton – obiekt uchodzący za pierwszą konstrukcję wykonaną w całości z drewna klejonego. W 1906 roku niemiecki stolarz Otto Hetzer opatentował gięte belki warstwowe, klejone z dwóch lub więcej lameli. Było to innowacyjne rozwiązanie nie tylko pod względem cech mechanicznych, lecz również bardzo dobrej odporności na działanie wilgoci. Opracowana technologia szybko zyskała popularność i drewno klejone warstwowo zaczęto powszechnie stosować na terenie Niemiec, Austrii, Włoch czy Szwajcarii. Z czasem technologia produkcji była udoskonalana, zaczęto stosować lamele z drewna wysokiej jakości, o wilgotności dostosowanej do parametrów panujących w budynkach, co pozwoliło zminimalizować niepożądane zjawiska skurczu i pęcznienia. Automatyzacja procesu produkcji umożliwiła uzyskiwanie elementów konstrukcyjnych o różnorodnych kształtach i imponujących rozpiętościach, przy zachowaniu bardzo wysokiej dokładności.

Proces produkcji drewna klejonego warstwowo rozpoczyna się od przygotowania lameli, które są suszone komorowo do wilgotności 8÷12%, czterostronnie strugane i sortowane wizualnie, a następnie maszynowo. Naturalne wady drewna, takie jak duże sęki czy fragmenty kory, są automatycznie zaznaczane i usuwane, zależnie od wymogów wytrzymałościowych i estetycznych. Standardowo stosuje się lamele o grubości 4 cm, wykonane z drewna iglastego, zwykle świerkowego. Kolejnym etapem jest łączenie krótkich lameli w elementy dłuższe przy zastosowaniu techniki opisanej w rozdziale dotyczącym budownictwa szkieletowego. Tak przygotowane lamele są przycinane do wymaganej długości, pokrywane klejem, układane jedna na drugiej i ściskane w specjalnych prasach. Połączenia klejowe są bardzo cienkie – spoina ma grubość rzędu 0,3 mm. Po wyschnięciu kleju gotowe elementy są strugane, a ich krawędzie fazowane. Dostępna obecnie technologia produkcji pozwala uzyskiwać elementy konstrukcyjne o szerokości sięgającej 24÷26 cm, wysokości rzędu 200 cm, a w przypadku niektórych producentów nawet 300 cm i rozpiętości 30÷35 m lub większej (długość elementu ograniczona jest głównie możliwościami transportu). Istnieje również możliwość klejenia ze sobą kilku przekrojów BSH, co pozwala uzyskiwać elementy o bardzo dużych wymiarach i nietypowych kształtach przekrojów, np. belki typu T lub elementy skrzynekowe.

Drewno klejone warstwowo ma wiele zalet. Jest to materiał o wysokiej wytrzymałości, a wykonane z niego elementy konstrukcyjne mają bardzo dobry stosunek nośności do ciężaru. Ponadto, dzięki zautomatyzowanej produkcji w wyspecjalizowanych zakładach uzyskuje się wysoką stabilność wymiarów i kształtów. Suszenie komorowe drewna do odpowiedniej wilgotności pozwala z kolei na uniknięcie nadmiernego skurczu i pęcznienia elementów po wbudowaniu. Drewno klejone ma też dobrą odporność na działanie czynników agresywnych, przez co może być używane np. w obiektach magazynujących środki chemiczne czy sól. Niewątpliwą zaletą drewna klejonego warstwowo jest również odporność ogniowa³⁶. Spala się ono wolniej i w sposób bardziej równomierny niż drewno lite. Materiał ten zakwalifikowano jako słabo rozprzestrzeniający ogień (elementy o grubości do 12 cm) lub nierozprzestrzeniający ognia (elementy powyżej 12 cm lub zabezpieczone środkiem ochronnym). Zgodnie z normą³⁷, przy projektowaniu elementów z drewna klejonego warstwowo należy zwiększyć wymiary przekroju ze względu na obciążenie ogniem. W wyniku pożaru dochodzi bowiem do zwęglenia zewnętrznej warstwy przekroju, która to poprzez ograniczenie dopływu tlenu

³⁵ Müller, C. "Laminated Timber Construction". Birkhäuser Architecture, 2000

³⁶ Rajczyk, M., Jończyk, D. "Odporność ogniowa belek z drewna klejonego wzmocnianych kompozytami włóknistymi", *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym* (8), pp. 193–201, 2011

³⁷ "PN-EN 1995-1-2:2008. Eurokod 5. Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-2: Postanowienia ogólne. Projektowanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe", *Polski Komitet Normalizacyjny*, 2008

izoluje rdzeń, dzięki czemu wewnętrzna część pozostaje przez jakiś czas nienaruszona i dalej przenosi obciążenia.

Konstrukcje z drewna klejonego warstwowo kojarzone są obecnie głównie z konstrukcjami wielkowymiarowymi. W technologii tej wznosi się powszechnie takie obiekty jak: hale sportowe, baseny, hale produkcyjne i magazynowe, kościoły itp. Wynika to z możliwości jakie daje drewno klejone w zakresie uzyskiwanych kształtów i rozpiętości elementów konstrukcyjnych. Coraz częściej spotyka się również mniejsze elementy z drewna klejonego warstwowo, np. belki proste, przeznaczone dla klienta indywidualnego i dostępne od ręki. Oprócz standardowych produktów tworzone są wciąż nowe rozwiązania, których przykładem mogą być masywne systemy ścian, stropów i dachów³⁸. Produkcja stropów przebiega w sposób zbliżony do tworzenia tradycyjnych belek. Różnica polega na wykonaniu po obu stronach gotowego elementu frezu typu podwójne pióro-wpust. Tak przygotowane elementy łączy się ze sobą przy użyciu systemowych łączników, uzyskując płytę stropową o rozpiętości rzędu nawet 9 m (bez dodatkowego podparcia). W podobny sposób konstruuje się elementy ścian, zapewniając w panelach dodatkową przestrzeń na instalację elektryczną. Konstrukcję ściany zwieńcza od góry oczep, a od dołu podwalina. Przy zastosowaniu odpowiedniej izolacji, w obiekcie wybudowanym w tej technologii możliwe jest uzyskanie standardu domu energooszczędnego bądź pasywnego.

W ostatnich latach intensywny rozwój przeżywa również inna technologia, bazująca na sklejanii pojedynczych lameli drewnianych – technologia CLT (z ang. *Cross Laminated Timber*), czyli drewno klejone krzyżowo. Jest to produkt stosunkowo nowy, jego początki datuje się na koniec XX wieku³⁹. Z drewna klejonego krzyżowo produkuje się głównie wielkowymiarowe elementy płytowe, takie jak panele ściennie, stropowe czy dachowe, które są wykorzystywane w budynkach prefabrykowanych. Technologię stosuje się głównie w budownictwie kubaturowym, w tym wielokondygnacyjnych budynkach mieszkalnych.

Drewno klejone krzyżowo, podobnie jak BSH, jest materiałem o bardzo dobrych właściwościach izolacyjnych i wysokiej odporności ogniowej. Technologia jest przyjazna dla środowiska i tworzy korzystny mikroklimat we wnętrzach budynków. Do głównych zalet CLT należy szybkość budowy obiektów, a także większa o około 10% w stosunku do budownictwa murowanego powierzchnia użytkowa.

Panele CLT składają się najczęściej z trzech, pięciu lub siedmiu warstw lameli z drewna konstrukcyjnego, najczęściej klasy C24⁴⁰. Proces produkcji jest zbliżony do produkcji drewna klejonego warstwowo. Elementy drewniane są suszone komorowo i strugane, łączone za pomocą złącz klinowych w długie deski, układane naprzemiennie w kolejnych warstwach pod kątem 90°, a następnie klejone pod ciśnieniem. Dzięki krzyżowemu układowi warstw drewna uzyskuje się wysoką stabilność wymiarów, bardzo dobrą wytrzymałość w obu kierunkach, a także odpowiednią sztywność. Aktualnie produkuje się panele o grubościach około 6÷40 cm, szerokościach rzędu 290÷350 cm i długościach sięgających nawet 16,5 m⁴¹.

³⁸ Przepiórka, J. "Drewno klejone warstwowo - czy tylko konstrukcje wielkonwymiarowe?", *Inżynier Budownictwa*, (4), 2015

³⁹ Przepiórka, J., Kotarski, A. "Drewno klejone krzyżowo - nowoczesny materiał budowlany", *Inżynier Budownictwa*, (4), 2019

⁴⁰ PN-EN 338:2016-06. *Drewno konstrukcyjne. Klasy wytrzymałości*, Polski Komitet Normalizacyjny, p. 13, 2016

⁴¹ Przepiórka, J. "CLT – drewno klejone krzyżowo", *Fachowy Dekarz & Ciesla*, 4, pp. 64–65, 2018

Konstrukcje z drewna klejonego warstwowo i krzyżowo należą do tzw. konstrukcji masywnych. Są to rozwiązania znacznie odbiegające od tradycyjnego budownictwa drewnianego. Połączenie obu technologii pozwala na tworzenie imponujących obiektów, które bez problemu mogą konkurować z budynkami o konstrukcji stalowej czy żelbetowej, a pod wieloma względami nawet je przerastać. W technologii CLT wznosi się obecnie nawet budynki wysokościowe. W marcu 2019 roku zakończyła się budowa Mjøstårnet⁴² – budynku zlokalizowanego w niewielkiej miejscowości Brumunddal w Norwegii, mającego 18 pięter i 85 m wysokości, który jest aktualnie najwyższym na świecie drewnianym wieżowcem.

2.3.4 Uzasadnienie wyboru technologii prefabrykowanego szkieletu drewnianego do oceny oddziaływania budynku na środowisko metoda LCA

Elementy konstrukcji budynków drewnianych realizowanych w systemie prefabrykowanym wytwarzane są w hali produkcyjnej i jako gotowe moduły ścian, przywożone są na budowę i ustawiane na wcześniej przygotowanych fundamentach, najczęściej przy pomocy samojezdnego dźwigu. Stopień prefabrykacji może być różny od konstrukcji ścian bez ocieplenia i elewacji z otworami na okna i drzwi, przez gotowe ściany z wmontowanymi oknami i elewacją do prawie całkowicie wykończonych modułów kontenerowych. Dzięki takiemu procesowi produkcyjnemu, konstrukcja domu jest trwała i odporna na warunki atmosferyczne, a montaż na budowie może odbywać w praktycznie każdej porze roku. Wysoki standard energetyczny budynków WT2021 dla budynków wymaga dużej szczelności i dokładności, co zapewnia technologia prefabrykowanego szkieletu drewnianego. Koszty budynków drewnianych są od 9 do 15% niższe niż budynków o tej samej powierzchni wykonanych w technologiach murowanych. Proces produkcyjny wymusza prostą bryłę budynku, ponieważ elementy konstrukcyjne muszą zostać precyzyjnie wykonane i kontrolowane. Sprawdza się przede wszystkim jakość i dokładność wykonania modułów przy jednoczesnym zachowaniu szczelności powstałych połączeń. Prosta bryła pozwala na łatwiejsze uzyskanie standardu domu pasywnego i na łatwy ewentualny montaż kolektorów słonecznych, lub paneli fotowoltaicznych. Elementy drewniane użyte do prefabrykacji są zazwyczaj czterostronnie strugane i suszone komorowo, co sprawia, że będą one wytrzymałe, odporne na wilgoć i wodę, trwale i nie będą się wypaczać, a ewentualne uszkodzenia można szybko i w łatwy sposób naprawić. W warunkach polskich domy będą równie trwałe jak murowane, a będzie je można łatwiej rozbudowywać lub przebudowywać.

Do zalet budowy domu w technologii prefabrykowanej można zaliczyć:

- Szybkość montażu elementów konstrukcji po uprzednim przygotowaniu fundamentów (od tygodnia dla kontenerowych budynków modułowych do 4 miesięcy dla budynków o niskim stopniu prefabrykacji).
- Możliwość wykonywania budynku w dowolnej porze roku,
- Mniejsze zużycie betonu i stali na fundamenty (konstrukcje prefabrykowane są lekkie, a nie masywne jak w przypadku technologii murowanej).
- Lekkość konstrukcji budynku przy zachowanych wysokich parametrach wytrzymałościowych.
- Większą powierzchnię użytkową budynku w stosunku do obiektu w technologii murowanej o tej samej powierzchni zabudowy i architektury
- Łatwą możliwość uzyskania wysokiej izolacyjności cieplnej, przeciwwilgociowej i akustycznej.

⁴² <https://www.moelven.com/mjostarnet/>, Dostęp z dn. 01.10.2019

- Stosunkowo łatwą możliwość uzyskania dla przegród zewnętrznych bardzo wysokich parametrów izolacyjności cieplnej na poziomie budynków pasywnych.
- Łatwość wykończenia domu.
- Łatwość układania wszelkiego rodzaju izolacji.
- Łatwość układania instalacji wodnych, kanalizacyjnych, elektrycznych i wentylacyjnych.
- Wysoką dokładność elementów konstrukcji.
- Łatwą możliwość przebudowy lub rozbudowy.

Do wad domów w drewnianym szkielecie prefabrykowanym zalicza się:

- Ograniczenia architektoniczne co kształtu budynku (preferowana architektura domu o prostej i zwartej bryle).
- Brak możliwości dłuższych przestojów (budowa powinna być prowadzona płynnie, aby nie narazić elementów prefabrykowanych na ewentualne zniszczenie).
- Potrzeba użycia dźwigu do montażu elementów lub modułów.
- Czasami utrudniony transport na teren budowy.
- Ograniczenie możliwości dokonywania zmian na etapie budowy, w stosunku do dokumentacji projektowej (gotowe elementy trzeba będzie docinać, lub dodatkowo zamawiać, co spowoduje wyższe koszty i niewskazany przestój na budowie).

Biorąc pod uwagę wyżej wymienione wady i zalety szkieletowych budynków drewnianych w technologii prefabrykowanej wybrano je do oceny LCA, gdyż upowszechnienie tej technologii daje szansę na szybki wzrost udziału budynków drewnianych w wolumenie nowych budynków.

3 Oceny cyklu życia budynku mieszkalnego jednorodzinne

3.1 Wstęp

Ocenę cyklu życia wykonano dla czterech wariantów budynku mieszkalnego jednorodzinne. Analiza objęła murowany budynek w jednej z najpopularniejszych technologii budowy w Polsce w standardzie energetycznym, który będzie obowiązywać w Polsce od 1 stycznia 2021 roku. Następnie wykonano model budynku w lekkim szkielecie drewnianym w podobnym standardzie energetycznym i identycznym układzie funkcjonalnym. Następnie zmodyfikowano budynki zwiększając ich efektywność energetyczną do standardu pasywnego.

Dla wszystkich wariantów wykonano obliczenia charakterystyki energetycznej oraz wyliczenie śladu węglowego i energii wbudowanej w całym cyklu życia budynku obejmującym 50 lat eksploatacji obiektu.

3.2 Opis przyjętych założeń projektowych

Na potrzeby wykonania analizy oceny cyklu życia wytypowano najbardziej popularne wśród indywidualnych inwestorów rozwiązania techniczne stosowane przy budowie domów jednorodzinnych.

Rozwiązania oraz parametry budynku referencyjnego określono na podstawie analizy przeprowadzonej przez Pierzchalskiego⁴³. Przyjęto następujące założenia dla budynku referencyjnego:

- powierzchnia budynku netto 120-130 m² (według powyższego źródła najpopularniejsze są budynki o powierzchni 101-150 m²),
- program funkcjonalny dla czteroosobowej rodziny (według Raportu Oferteo.pl⁴⁴ rodziny czteroosobowe stanowiły 33% przyszłych użytkowników),
- budynek murowany z bloczków betonu komórkowego grubości 24 cm (według Raportu Oferteo.pl⁴⁵ takie rozwiązanie wybrało 85% inwestorów indywidualnych),
- ocieplenie ścian zewnętrznych styropian i BSO⁴⁶,
- pokrycie blachodachówka,
- ogrzewanie gazowe (według Raportu Oferteo.pl⁴⁷ jest to obecnie najpopularniejsze źródło ciepła, według innych źródeł bardziej popularne są kotły na paliwa stałe),
- budynek parterowy z poddaszem użytkowym (według Raportu Oferteo.pl⁴⁸ takie rozwiązanie wybrało 45% inwestorów indywidualnych),

⁴³ Pierzchalski M. *Architektoniczna optymalizacja budynków mieszkalnych jednorodzinnych w zakresie oddziaływania na środowisko naturalne przy wykorzystaniu oceny cyklu życia (LCA)*, 2018

⁴⁴ Oferteo.pl (2017) *Raport o budowie domów w Polsce w 2016 roku: edycja 5*. Dostępne w Internecie: <https://www.oferteo.pl/raporty/raport-o-budowie-domow-2016-cz1>

⁴⁵ jw.

⁴⁶ PSPS (2018) *Polskie Stowarzyszenie Producentów Styropianu*. Dostępne w Internecie: <http://producentystyropianu.pl/>

⁴⁷ Oferteo.pl (2017) *Raport o budowie domów w Polsce w 2016 roku: edycja 5*. Dostępne w Internecie: <https://www.oferteo.pl/raporty/raport-o-budowie-domow-2016-cz1>

⁴⁸ jw.

- strop gęstożebrowy Teriva (jest to jedno z najpopularniejszych rozwiązań dla stropów obok stropów żelbetowych monolitycznych),
- niepodpiwniczony (według Raportu Oferteo.pl⁴⁹ takie rozwiązanie wybrało 85% inwestorów indywidualnych),
- okna PVC (według Raportu Oferteo.pl⁵⁰ takie rozwiązanie wybrało 92% inwestorów indywidualnych),
- ogrzewanie podłogowe – ze względu na zwiększającą się popularność takiego rozwiązania⁵¹.

Rozwiązania oraz parametry budynku w technologii drewnianej określono na podstawie analizy literatury⁵². Przyjęto następujące założenia dla budynku referencyjnego:

- wszystkie parametry budynków niezwiązane z wybraną technologią przyjęto jak dla budynku referencyjnego (powierzchnia, program funkcjonalny, pokrycie dachu, okna, instalacje),
- zastosowano konstrukcję lekkiego szkieletu drewnianego (według Raportów Oferteo.pl⁵³ trzecią najpopularniejszą technologią wznoszenia domów (10%) jest szkielet drewniany).

Szczegóły techniczne poszczególnych budynków opisano w Załączniku 2.

3.3 Opis przyjętych założeń do analizy LCA

Do analizy oddziaływania na środowisko w całym cyklu życia zastosowano metodę LCA (ang. Life Cycle Assessment). Jest to środowiskowa metoda oceny procesu lub wyrobu w całym cyklu istnienia, inaczej: „od kołyski do grobu” (ang. cradle-to-grave). Obejmuje ona analizę w zakresie możliwych oddziaływań procesu lub wyrobu na środowisko naturalne. Analiza uwzględnia wszelkie czynniki oddziaływania („strumienie wyjść i wejść”) od momentu pozyskania surowców do wszelkich procesów związanych z likwidacją produktu⁵⁴.

Końcowa ocena oddziaływania w metodzie LCA może obejmować różne kategorie oddziaływania tj. globalne ocieplenie, uszczuplenie warstwy ozonowej, zakwaszanie gleby i wody, eutrofizacja, fotochemiczne tworzenie ozonu, uszczuplenie zasobów abiotycznych czy zużycie wody pitnej lub wytwarzanie szkodliwych odpadów. Niniejsza ocena będzie dotyczyć dwóch kategorii oddziaływania:

- ślad węglowy (potencjał globalnego ocieplenia) wyrażanego w jednostce kg CO₂ e. (ekwiwalent dwutlenku węgla) oraz

⁴⁹ jw.

⁵⁰ Oferteo.pl (2017) Raport o budowie domów w Polsce w 2016 roku: edycja 5. Dostępne w Internecie:

<https://www.oferteo.pl/raporty/raport-o-budowie-domow-2016-cz1>

⁵¹ Strzemiński, M. (2001) „Wpływ ogrzewania podłogowego na jakość powietrza wewnętrznego”, w *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce*. Warszawa: Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechnika Warszawska, s. 319–324

⁵² W. Nitka „Szkieletony dom drewniany”, *Murator „Kanadyjski szkieletony dom drewniany”*, Kaufmann, Krotsch, Winter „Manual of Multistorey Timber Construction”

⁵³ Oferteo.pl (2016) Raport o budowie domów w 2015 roku. Dostępne w Internecie:

<http://tw24bis.pl/nieruchomosci,83/domy-raport-o-budowie-domow-w-2015-roku,627478.html>

Oferteo.pl (2017) Raport o budowie domów w Polsce w 2016 roku: edycja 5. Dostępne w Internecie:

<https://www.oferteo.pl/raporty/raport-o-budowie-domow-2016-cz1>

⁵⁴ Pierzchałski M. „Architektoniczna optymalizacja budynków mieszkalnych jednorodzinnych w zakresie oddziaływania na środowisko naturalne przy wykorzystaniu oceny cyklu życia (LCA)”, 2018

- energia skumulowana (całkowite zużycie zasobów energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych i nieodnawialnych) wyrażanych w MJ.

Pełna ocena dla innych kategorii oddziaływania nie może zostać wykonana, ponieważ nie wszystkie bazy danych oraz dane zawarte w artykułach naukowych zawierają pełny zakres LCA. Tak jest na przykład z bazą ICE v.2.0 (*Inventary of Carbon & Energy*)⁵⁵, która zawiera wyłącznie wspomniane wcześniej dwie kategorie oddziaływania.

Na potrzeby analizy wykorzystano bazę danych opracowaną w rozprawie doktorskiej Pierzchalskiego⁵⁶. Wskazana baza danych została opracowana na podstawie informacji zawartych w deklaracjach środowiskowych EPD typu III oraz danych w bazach Oekobau.dat, Inventory od Carbon and Energy v.2.0 oraz na podstawie własnych kalkulacji autora rozprawy. Cyt: „W zakresie danych dotyczących śladu węglowego oraz energii wbudowanej dla zastosowanych wyrobów budowlanych posłużono się w pierwszej kolejności danymi dla rynku polskiego, w przypadku braku informacji posłużono się danymi europejskimi. W tym wypadku, jeśli dostępnych było kilka źródeł, wybierano miejsca najbliższe geograficznie lub uśredniano wartości. Jeśli brak było danych dla Polski i Europy, wybierano dane globalne.”

Na potrzeby wykonania projektowanej charakterystyki energetycznej przyjęto lokalizację budynków w Warszawie, która znajduje się w III strefie klimatycznej.

Analiza LCA objęła Fazę wyrobu, Fazę budowy i Fazę użytkowania (wymiana zużytych elementów i zużycie energii w trakcie eksploatacji). Nie uwzględniono pozostałych faz użytkowania, ponieważ stanowią nieznaczny udział w całym cyklu życia. Nie uwzględniono również Fazy końca życia, ponieważ jest to obszar, dla którego brakuje kongruentnych danych. Etapy cyklu istnienia budynku przedstawia Tabela 3.1 (kolorem beżowym oznaczono fazy uwzględnione w niniejszej analizie).

Tabela 3.1. Etapy cyklu istnienia budynku. W badaniach uwzględniono fazy A1-A3 oraz B6 oznaczone kolorem beżowym. Źródło: Opracowanie własne na podstawie normy PN-EN 15804:2012

Etapy cyklu istnienia budynku																
Faza wyrobu			Faza budowy		Faza użytkowania							Faza końca życia				Info
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Dostawa surowców	Transport	Wytwarzanie	Transport	Instalacja, wbudowanie	Użytkowanie ⁵⁷	Konserwacja	Naprawa	Wymiana	Renowacja	Zużycie energii podczas użytkowania	Zużycie wody podczas użytkowania	Rozbiórka	Transport	Przetwarzanie odpadów	Usuwanie odpadów	Potencjał ponownego wykorzystania, odzysku i

⁵⁵ Hammond, P. G. i Jones, C. (2006) „Inventory of Carbon & Energy (ICE)”, *Mechanical Engineering*, 161, s. 1–49. doi: 10.1680/j.ener.2008.161.2.87

⁵⁶ Pierzchalski M. „Architektoniczna optymalizacja budynków mieszkalnych jednorodzinnych w zakresie oddziaływania na środowisko naturalne przy wykorzystaniu oceny cyklu życia (LCA)”, 2018

⁵⁷ B1 dotyczy użycia lub stosowania wbudowanego wyrobu. W tej fazie należy uwzględnić wszelkie oddziaływania nie uwzględnione w B2-B7, np. uwalnianie substancji z zastosowanych materiałów.

Ze względu na brak pełnych danych dotyczących wyrobów instalacyjnych, do analizy budynków przyjęto podstawowe wyroby budowlane (tj. okna, drzwi oraz urządzenia techniczne) – patrz Załącznik 2.

3.4 Ślad węglowy wyrobów z drewna

Największe oddziaływanie na środowisko wyrobów budowlanych wytworzonych z drewna w zakresie śladu węglowego, zakwaszania i smogu mają procesy związane z produkcją. Jedynie 10 - 20% oddziaływania wyrobów z drewna stanowią procesy związane z leśnictwem⁵⁸. Udział wpływu leśnictwa na środowisko jest większy w przypadku eutrofizacji i wynosi ponad 30%⁵⁹.

Na świecie można zaobserwować dwojakié podejście w przypadku wyliczania śladu węglowego związanego z produkcją drewnianych lub drewnopochodnych wyrobów budowlanych. Według opinii Hammonda i Jones'a⁶⁰ oraz na podstawie informacji zawartych w PCR (ang. *Product Category Rules*) dla deklaracji środowiskowych⁶¹ wychwyty (sekwestracja) dwutlenku węgla może być brana pod uwagę tylko wtedy, kiedy w analizie są uwzględniane wszystkie fazy cyklu istnienia. Wynika to z tego, że nie są znane dalsze losy drewna, które może zostać ponownie użyte lub poddane recyklingowi, ale także może zostać spalone lub dostarczone na składowisko odpadów.

Wyliczając możliwy wychwyty można kierować się następującymi danymi: 1m³ tarcicy z drewna drzew iglastych = 433,57 kg suchej masy = 216,78 kg węgla = 794,88 kg CO₂e⁶². Przy użyciu narzędzi FPInnovations Carbon Sequestration Tool (*cradle-to-gate*) wyliczono, że dla fazy wyrobu A1-A3 (1 m³ tarcicy o masie 433,57 kg) emisja związana z procesami wytwórczymi oraz biogeniczna emisja dwutlenku węgla i metanu wyniesie łącznie 231,39 kg CO₂ i 3,22 kg CH₄, czyli emisja netto (uwzględniająca sekwestrację CO₂) wyniesie -483,05 kg CO₂e.⁶³ Wyliczenia powyższe dostosowane są dla rynku kanadyjskiego. Na potrzeby analizy LCA stosowano dane z niemieckiej bazy Oekobaudat oraz europejskich deklaracji środowiskowych EPD typu III.

Analiza LCA obejmuje dwa warianty obliczeń śladu węglowego dla technologii drewnianej – uwzględniającą sekwestrację dwutlenku węgla oraz analizę nie uwzględniającą wychwyty. Proponuje się, aby stworzyć szczegółowe scenariusze umożliwiające efektywne wdrożenie recyklingu lub ponownego użycia wyrobów drewnianych i drewnopodobnych uzyskanych z rozbiórki budynków w konstrukcji drewnianej. Istnieje wiele możliwości recyklingu drewna można je przerobić na trociny (np. jako ściółka dla zwierząt), płyty wiórowe i pilśniowe, masy celulozowe oraz humus.

Przykładowe wyroby drewniane i drewnopochodne wraz z informacją dotyczącą energii wbudowanej i śladu węglowego zamieszczono w Załączniku 2.

⁵⁸ American Wood Council i Canadian Wood Council (2013) „Environmental Product Declaration - North American Softwood Lumber”, (13CA24184.102.1), s. 1–15.

⁵⁹ jw.

⁶⁰ Hammond, P. G. i Jones, C. (2006) „Inventory of Carbon & Energy (ICE)”, *Mechanical Engineering*, 161, s. 1–49

⁶¹ FPInnovations (2011), Product Category Rules (PCR) for Preparing an Environmental Product Declaration (EPD) for North American Structural and Architectural Wood Products.

⁶² FPInnovations i Athena Sustainable Materials Institute, b.r.; American Wood Council i Canadian Wood Council, 2013

⁶³ FPInnovations i Athena Sustainable Materials Institute (b.r.) „Business-to-Business Carbon Sequestration Tool, FPInnovations, Athena Sustainable Materials Institute

3.5 Wybór standardu energetycznego

3.5.1 Budynek spełniający wymagania warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowania, które będą obowiązywać od 1 stycznia 2021 roku

Zaprojektowano budynek referencyjny, który spełnia wymagania Prawa budowlanego w zakresie Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowania (z późn. zmianami), które będą obowiązywać od 1 stycznia 2021 roku.

Na potrzeby analizy uwzględniono w szczególności obszar efektywności energetycznej (Dział X - Oszczędność energii i izolacyjność cieplna oraz wymagania z Załącznika 2) - wymagania izolacyjności cieplnej i inne wymagania związane z oszczędnością energii.

Głównie chodzi o spełnienie wymagań par 328, cyt.:

„1. Budynek i jego instalacje ogrzewcze, wentylacyjne i klimatyzacyjne, ciepłej wody użytkowej (...) powinny być zaprojektowane i wykonane w sposób, zapewniający spełnienie następujących wymagań minimalnych:

1) wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP [kWh/(m²·rok)], obliczona według przepisów wydanych na podstawie art. 15 ustawy z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków (Dz. U. poz. 1200 oraz z 2015 r. poz. 151), jest mniejszą lub równą wartości maksymalnej obliczonej zgodnie ze wzorem, o którym mowa w § 329 ust. 1 lub 3;

2) przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w załączniku nr 2 do rozporządzenia.

1a. Wymagania minimalne, o których mowa w ust. 1, uznaje się za spełnione dla budynku podlegającego przebudowie, jeżeli przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku podlegające przebudowie odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w załączniku nr 2 do rozporządzenia.

1b. Budynek, który spełnia wymagania minimalne określone w ust. 1, na dzień 31 grudnia 2020 r., a w przypadku budynku zajmowanego przez organ wymiaru sprawiedliwości, prokuraturę lub organ administracji publicznej i będącego jego własnością – na dzień 1 stycznia 2019 r., jest budynkiem o niskim zużyciu energii.

2. Budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby ograniczyć ryzyko przegrzewania budynku w okresie letnim. „

Dla budynków mieszkalnych jednorodzinnych cząstkowa wartość wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody od dnia 31.12.2020 roku powinna wynosić 70 kWh/m²rok lub mniej.

W Tabeli 3.2 zestawiono przyjęte wartości współczynników przenikania ciepła U_c.

Tabela 3.2. Wartości współczynnika przenikania ciepła U_{c(max)} przegród zewnętrznych budynku w standardzie WT2021.

Rodzaj przegrody	Współczynnik przenikania ciepła U _{c(max)} [W/(m ² ·K)] od 1.01.2021 roku.
Ściany zewnętrzne	0,20
Dachy	0,15
Podłogi na gruncie	0,30

Rodzaj przegrody	Współczynnik przenikania ciepła $U_{C(max)}$ [W/(m ² ·K)] od 1.01.2021 roku.
Okna	0,9
Okna połaciowe	1,1
Drzwi w przegrodach zewnętrznych	1,3

Przyjęto również parametr szczelności na przenikanie powietrza na poziomie $n_{50} < 1,5$ 1/h.

3.5.2 Budynek pasywny

W celu porównania różnych standardów energetycznych wykonano modyfikacje projektów w celu zwiększenia standardu energetycznego i obniżenia zużycia energii na ogrzewanie i wentylację. W celu uzyskania lepszych parametrów energetycznych zmodyfikowano następujące parametry:

- zwiększono izolacyjność przegród zewnętrznych – dokonano tego poprzez zwiększenie grubości warstwy termoizolacji. Zastosowano rozwiązania, aby osiągnąć współczynnik U ścian, dachu i podłogi na gruncie poniżej 0,15 W/m²K.
- zmieniono parametry okien – zastosowano okna o lepszych parametrach termicznych, przyjęto minimalny współczynnik $U_w = 0,8$ W/m²K a w przypadku małego okna w pomieszczeniu technicznym $U_w = 0,9$ W/m²K.

W Tabeli 3.3 zestawiono przyjęte wartości współczynników przenikania ciepła U_c .

Tabela 3.3. Wartości współczynnika przenikania ciepła $U_{c(max)}$ przegród zewnętrznych budynku w standardzie energooszczędnym.

Rodzaj przegrody	Zalecane współczynniki przenikania ciepła $U_{C(max)}$ [W/(m ² ·K)] dla standardu pasywnego.	Przyjęte współczynniki przenikania ciepła $U_{C(max)}$ [W/(m ² ·K)] dla budynku murowanego pasywnego.	Przyjęte współczynniki przenikania ciepła $U_{C(max)}$ [W/(m ² ·K)] dla budynku drewnianego pasywnego.
Ściany zewnętrzne	0,15	0,138	0,140
Dachy	0,15	0,126	0,127
Podłogi na gruncie	0,15	0,137	0,139
Okna	0,8	0,8	0,8
Okna połaciowe	0,8	0,8	0,8
Drzwi w przegrodach zewnętrznych	0,8	0,8	0,8

Przyjęto również parametr szczelności na przenikanie powietrza na poziomie $n_{50} < 0,6$ 1/h.

Obliczenia zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji wykonano z obowiązującym w Polsce Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015 poz. 376).

Obliczone jednostkowe zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji budynku murowanego pasywnego wyniosło 4,3 kWh/m²rok, a drewnianego 5,6 kWh/m²rok.

3.6 Opis budynku w technologii murowanej – referencyjny (WT2021)



Rysunek 3.1 Widok budynku murowanego od strony ogrodu



Rysunek 3.2. Widok budynku murowanego od strony wejścia

Na potrzeby analizy zaprojektowano dwukondygnacyjny (parter i poddasze użytkowe) budynek mieszkalny jednorodzinny, niepodpiwniczony o powierzchni netto wynoszącej 129,18 m² w tym 126,43 m² część ogrzewana oraz nieogrzewany przedsiónek o powierzchni 2,75 m². Zestawienie poszczególnych pomieszczeń przedstawia Tabela 3.4. Zaprojektowany budynek spełnia wymagania Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowania (z późn. zmianami) dla budynków mieszkalnych jednorodzinnych, które będą obowiązywać od dnia 1 stycznia 2021 roku.

Tabela 3.4. Zestawienie pomieszczeń w budynku murowanym (m²).

Numer	Nazwa pomieszczenia	Obliczona powierzchnia (m ²)
1	Przedsionek	2,75
2	Przedpokój	16,24
3	WC	1,67
4	Pom. techniczne	9,00
5	Salon, Kuchnia	37,98
6	Gabinet	8,17
7	Garderoba	5,42
8	Korytarz	9,67
9	Pom. gospodarcze	4,64
10	Łazienka	5,35
11	Pokój	10,67
12	Pokój	8,81
13	Pokój	8,81
SUMA		129,18 m ²

Informacje techniczne opis przegród oraz rysunki budynku mieszkalnego jednorodzinnego w technologii murowanej znajdują się w Załączniku 2.

3.7 Opis budynku w technologii drewnianej (WT2021)



Rysunek 3.3. Widok budynku w konstrukcji drewnianej od strony ogrodu



Rysunek 3.4. Widok budynku w konstrukcji drewnianej od strony wejścia

Na potrzeby analizy przeprojektowano budynek referencyjny (murowany) na technologię w konstrukcji drewnianej szkieletowej. Powstał projekt budynku, którego powierzchnia netto wynosi 129,52 m² w tym 126,77 m² (część ogrzewana) oraz nieogrzewany przedsionek o powierzchni 2,75 m². Nieznaczne różnice powierzchni budynku murowanego i drewnianego wynikają z innych grubości ścian w obu technologiach. Budynek drewniany jest też około 10 cm niższy od murowanego. Budynek spełnia wymagania Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowania (z późn. zmianami) dla budynków mieszkalnych jednorodzinnych od dnia 1 stycznia 2021 roku. Zestawienie pomieszczeń przedstawia Tabela 3.5.

Tabela 3.5. Zestawienie pomieszczeń w budynku drewnianym (m²).

Numer	Nazwa pomieszczenia	Obliczona powierzchnia (m ²)
1	Przedsiónek	2,75
2	Przedpokój	16,34
3	Garderoba	1,68
4	Pom. techniczne	9,04
5	Salon, Kuchnia	38,31
6	Gabinet	8,26
7	Korytarz	10,04
8	Pom. gospodarcze	2,43
9	Łazienka	5,41
10	Pokój	10,61
11	Pokój	8,77
12	Pokój	10,25
13	Garderoba	5,63
SUMA		129,52 m²

Informacje techniczne opis przegród oraz rysunki budynku mieszkalnego jednorodzinnego w technologii murowanej znajdują się w Załączniku 2.

3.8 Wyniki oceny LCA budynków

3.8.1 Budynki w technologii tradycyjnej i w technologii drewnianej prefabrykowanej w standardzie WT2021

Na podstawie opracowanych modeli cyfrowych BIM budynków wykonanych w programie Archicad 21 wyliczono ilości wyrobów budowlanych. Zestawienie ilości użytych materiałów dla poszczególnych technologii przedstawiono w Załączniku 2.

Na potrzeby analizy transportu przyjęto założenia, że sklep budowlany w którym zaopatruje się firma wykonawcza znajduje się w odległości 12 km, betoniarnia 20 km, kamieniołom z kruszywem 30 km. Fabryka prefabrykatów w szkielecie drewnianym znajduje się w odległości 150 km od miejsca budowy.

Po przeliczeniu wymaganego transportu wyrobów budowlanych na budowę wyliczono ilość spalonego paliwa. W budynku murowanym zużyte zostanie około 423 dm³ oleju napędowego, a w budynku drewnianym 271 dm³ oleju napędowego.

W analizie założono, że w cyklu 50 lat życia budynku wymagana będzie jednorazowa wymiana okien, drzwi, kotła gazowego, rekuperatora oraz paneli fotowoltaicznych. Przyjęto zatem do fazy użytkowania B4 dodatkową energię wbudowaną i ślad węglowy zgodnie z Tabelą z załącznika nr 2.

Następnie na podstawie symulacji charakterystyki energetycznej budynków obliczono zużycie energii w trakcie eksploatacji budynku w cyklu 50 lat. W obliczeniach uwzględniono energię końcową do ogrzewania i wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Zestawienie energii skumulowanej i śladu węglowego dla faz cyklu życia A1-A3 (produkcja wyrobów budowlanych), A4 (transport na budowę), A5 (procesy budowlane), B6 (zużycie energii w trakcie eksploatacji) przedstawiono w Tabeli 3.21 oraz 3.22 w Załączniku 2.

3.8.2 Budynki w technologii tradycyjnej i w technologii drewnianej prefabrykowanej w standardzie pasywnym.

W budynkach pasywnych użyto większych ilości materiałów termoizolacyjnych. Dzięki temu zmniejszyło się zapotrzebowanie na energię do ogrzewania, ale wzrosła energia wbudowana i ślad węglowy związany z dodatkowymi wyrobami budowlanymi.

Zestawienie Energii skumulowanej i śladu węglowego dla faz cyklu życia A1-A3 (produkcja wyrobów budowlanych), A4 (transport na budowę), A5 (procesy budowlane), B6 (zużycie energii w trakcie eksploatacji) przedstawiono w Tabeli 3.21 oraz 3.22 w Załączniku 2.

Pozostałe parametry przyjęto jak dla budynków referencyjnych.

3.8.3 Podsumowanie oceny LCA

W wyniku przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że najmniejszy ślad ekologiczny ma budynek w technologii drewnianej w standardzie pasywnym. Znacznie większy efekt ekologiczny osiągają budynki, w których uwzględniona została sekwestracja dwutlenku węgla w wyrobach drewnianych i drewnopochodnych. Największa emisja związana jest z eksploatacją budynków, dlatego wraz z wdrażaniem technologii drewnianej ważny jest również wysoki standard energetyczny budynków.

W przypadku budynków o identycznych parametrach izolacyjności przegród zmiana technologii wpływa nieznacznie na zużycie energii i ślad węglowy budynku w trakcie eksploatacji⁶⁴. Natomiast ma istotne znaczenie dla faz wyrobu A1-A2.

Energia skumulowana w całym cyklu życia analizowanego budynku drewnianego jest o około 4% mniejsza niż budynku murowanego. W przypadku wyłącznie wytworzenia wyrobów budowlanych użytych do wznoszenia budynku ilość energii skumulowanej budynku drewnianego jest o 15,3% mniejsza niż budynku murowanego.

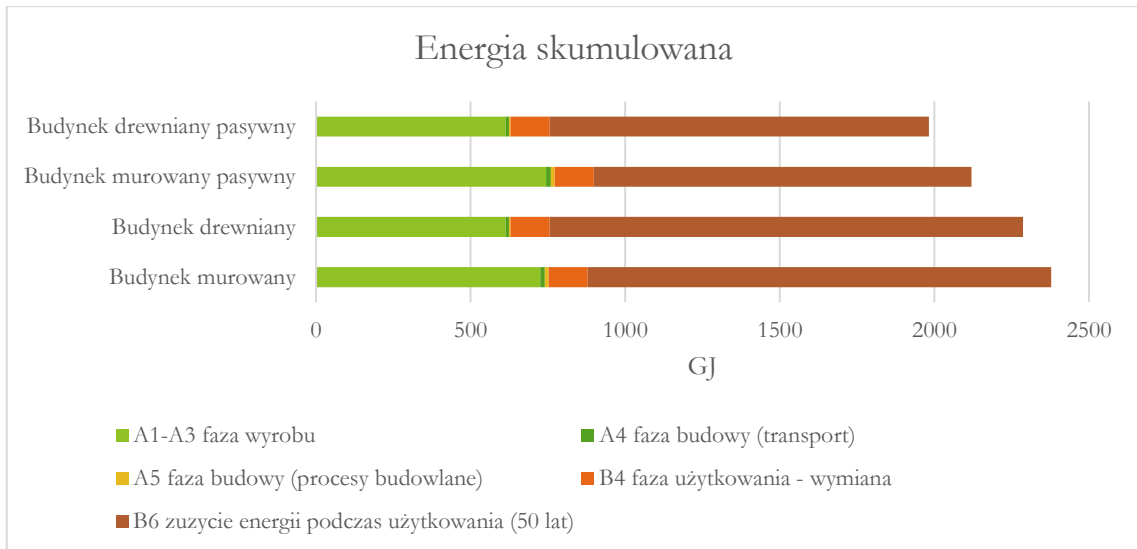
Biorąc pod uwagę wychwyty dwutlenku węgla związane z zastosowanymi wyrobami drewnianymi można stwierdzić, że ślad węglowy w całym cyklu życia analizowanego budynku drewnianego jest o 25% mniejszy niż budynku murowanego. W przypadku samego wytworzenia wyrobów budowlanych użytych do wznoszenia budynku ślad węglowy budynku drewnianego jest ponad 80% mniejszy niż budynku murowanego.

Wyniki końcowe symulacji zestawiono w Tabeli 3.6 oraz w Tabeli 3.7.

Tabela 3.6. Zestawienie energii skumulowanej [GJ] wszystkich wariantów budynków objętych analizą LCA.

	A1-A3 faza wyrobu	A4 faza budowy (transport)	A5 faza budowy (procesy budowlane)	B4 faza użytkowania - wymiana	B6 zużycie energii podczas użytkowania w cyklu 50 lat	SUMA
Budynek murowany WT2021	725,06	15,23	12,18	126,25	1498,82	2251,29
Budynek drewniany WT2021	614,07	9,76	5,22	126,25	1531,02	2160,06
Budynek murowany pasywny	744,24	15,23	12,18	126,25	1222,21	2120,11
Budynek drewniany pasywny	614,07	9,76	5,22	126,25	1227,36	1982,66

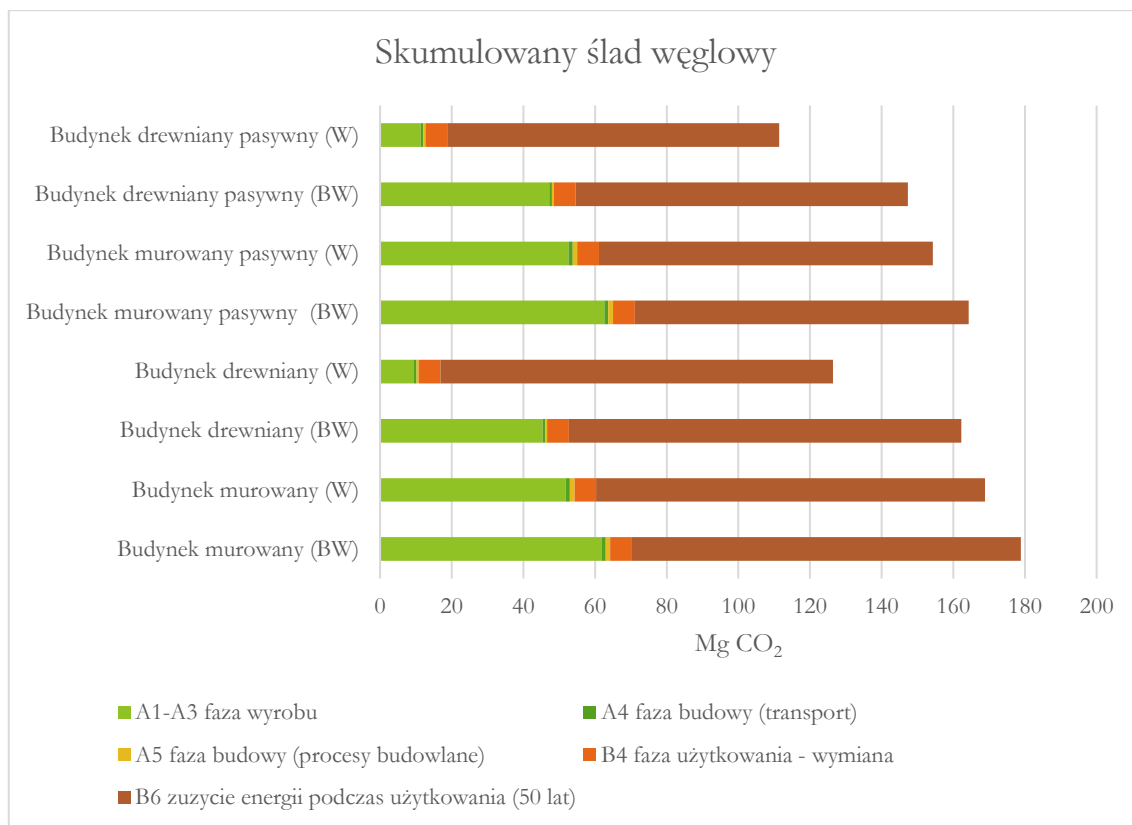
⁶⁴ Różnica może wynikać z innej akumulacyjności termicznej i jej wpływu na efektywności energetyczną budynku.



Rysunek 3.5. Wykres energii skumulowanej [GJ] wszystkich wariantów budynków objętych analizą LCA.

Tabela 3.7. Zestawienie skumulowanego śladu węglowego [Mg CO₂e.] wszystkich wariantów budynków objętych analizą LCA. W – uwzględniono sekwestrację dwutlenku węgla w wyrobach drewnianych, BW – nie uwzględniono sekwestracji dwutlenku węgla.

	A1-A3 faza wyrobu	A4 faza budowy (transport)	A5 faza budowy (procesy budowlane)	B4 faza użytkowania - wymiana	B6 zużycie energii podczas użytkowania w cyklu 50 lat	SUMA
Budynek murowany pasywny (BW)	62,60	1,13	1,32	6,06	93,16	164,26
Budynek murowany pasywny (W)	52,61	1,13	1,32	6,06	93,16	154,28
Budynek drewniany pasywny (BW)	47,21	0,72	0,61	6,06	92,69	147,30
Budynek drewniany pasywny (W)	11,32	0,72	0,61	6,06	92,69	111,40
Budynek murowany (BW)	61,82	1,13	1,32	6,06	108,53	172,79
Budynek murowany (W)	51,83	1,13	1,32	6,06	108,53	168,86
Budynek drewniany (BW)	45,33	0,72	0,61	6,06	109,56	156,23
Budynek drewniany (W)	9,44	0,72	0,61	6,06	109,56	126,39



Rysunek 3.6. Wykres skumulowanego śladu węglowego [Mg CO₂e.] wszystkich wariantów budynków objętych analizą LCA. W – uwzględniono sekwestrację dwutlenku węgla w wyrobach drewnianych, BW – nie uwzględniono sekwestracji dwutlenku węgla.

4 Ocena kosztów w cyklu życia budynku (LCC)

4.1 Charakterystyka metody LCC

Wykorzystywana w analizach ekonomicznych metoda kosztów cyklu życia, oznaczana symbolem LCC (ang. Life Cycle Cost) jest jedną z najbardziej złożonych metod oceny opłacalności inwestycji. Złożoność metody LCC wynika z jej kompleksowości, bowiem uwzględnia ona pełen okres istnienia przedsięwzięcia oraz polega na identyfikacji i wycenie wszystkich kosztów z nim związanych.

Wartość LCC odpowiada sumie wszystkich składników kosztów ponoszonych w związku z analizowanym przedsięwzięciem w każdej fazie jego istnienia. Sumowanie kosztów wykonuje się w sposób prosty lub złożony. W prostym sumowaniu nie uwzględnia zmiany wartości pieniądza w czasie (brak dyskontowania przepływów pieniężnych), a całkowity koszt cyklu życia odpowiada sumie nakładów inwestycyjnych, iloczynowi rocznych wydatków eksploatacyjnych i liczby lat użytkowania obiektu i kosztów likwidacyjnych. Sumowanie złożone polega na określeniu wartości bieżącej (zaktualizowanej) kosztów analizowanego przedsięwzięcia. Zaktualizowaną wartość kosztów w pełnym cyklu życia określa się z ogólnej zależności:

$$LCC = \sum_{t=-(\tau-1)}^T \frac{K_t}{(1+r)^t}$$

gdzie:

- τ – liczba lat tworzenia i budowy przedsięwzięcia (obiektu, systemu technicznego) do chwili rozpoczęcia eksploatacji,
- T – czas eksploatacji,
- K_t – koszt ponoszony w roku t ,
- r – stopa dyskontowa.

Wartość zdyskontowanego kosztu cyklu życia zależy więc ściśle od ponoszonych kosztów K_t , czasu eksploatacji produktów przedsięwzięcia T oraz stopy dyskontowej r . Z uwagi na wieloletni wymiar czasowy obserwacji przedsięwzięcia wysokość przyjętej stopy dyskontowej jest niezwykle istotną kwestią. Zdyskontowany koszt LCC maleje wraz ze wzrostem stopy dyskontowej, więc przyjęcie zbyt dużej stopy może spowodować deprecjację kosztów pojawiających się w kolejnych latach analizy i promuje przedsięwzięcia o niskich kosztach inwestycyjnych. Proste sumowanie kosztów jest z kolei bardzo dużym uproszczeniem analizy. Wylacza się wówczas wpływ czynników takich jak stopa preferencji czasowej, produktywność i ograniczoność kapitału na wynik analizy.

Kryterium decyzyjnym metody LCC, umożliwiającym wskazanie najkorzystniejszego rozwiązania analizowanego przedsięwzięcia jest najmniejsza wartość sumy ponoszonych kosztów występujących w kolejnych fazach cyklu życia obiektu (systemu). Warunek ten spełnia zasadę efektywności inwestycji mierzonej jako minimalizację kosztów prowadzących do osiągnięcia zamierzonego celu i wyrażony jest w następującej postaci:

$$LCC \rightarrow \min$$

W stosunku do budynków, analiza kosztów cyklu życia obejmuje najczęściej cztery podstawowe elementy: budowę, eksploatację, utrzymanie oraz likwidację. Rozporządzenie Ministra Inwestycji i Rozwoju w sprawie metody kalkulacji kosztów cyklu życia budynków oraz sposobu przedstawiania

informacji o tych kosztach wskazuje zaś, że koszt cyklu życia budynku oblicza się jako sumę kosztów nabycia, użytkowania oraz utrzymania budynku, wykorzystując wzór:

$$C_g = C_n + C_{uz} + C_{ut}$$

gdzie:

C_g – koszty cyklu życia budynku w 30-letnim okresie życia budynku,

C_n – koszty nabycia, określone na podstawie ceny oferty wykonania budynku,

C_{uz} – koszty użytkowania związane z przewidywanym zużyciem energii końcowej lub nośników energii oraz wody,

C_{ut} – koszty utrzymania wynikające z eksploatacji budynku, umożliwiające utrzymanie go w należyтым stanie technicznym i estetycznym.

Algorytm szacowania wartości kosztu cyklu życia budynku, określony w rozporządzeniu jest prostym sumowaniem kosztów w trzydziestoletnim okresie eksploatacji rozpatrywanego obiektu. Metoda nie uwzględnia zatem wpływu zmiany wartości przepływów pieniężnych w kolejnych latach eksploatacji budynku oraz wartości rezydualnej lub kosztów likwidacyjnych w ostatnim, trzydziestym roku obserwacji przedsięwzięcia.

W niniejszym opracowaniu określono koszty cyklu życia dla każdego z wariantów jako sumę zdyskontowanych kosztów inwestycyjnych, kosztów użytkowania (energii) oraz kosztów utrzymania budynku po pierwszym, piątym, dziesiątym oraz pięćdziesiątym roku jego eksploatacji. Z uwagi na przyjęcie krótszych okresów obserwacji niż techniczna trwałość budynku (całkowity cykl jego istnienia) określono również wartości rezydualne, odpowiadające bieżącej wartości odtworzeniowej budynku z uwzględnieniem stopnia jego zużycia. Algorytm obliczenia LCC dla potrzeb sporządzonej analizy jest następujący:

$$LCC = KI_0 + \sum_{t=1}^T \frac{KE_t + KU_t}{(1+r)^t} - \frac{WR_T}{(1+r)^T}$$

gdzie:

T – okres obserwacji inwestycji (rok, pięć, dziesięć, pięćdziesiąt lat okresu eksploatacji),

KI_0 – koszty inwestycyjne ponoszone w całości w ciągu roku 0 (rozpoczęcia inwestycji), przed rozpoczęciem użytkowania budynku, określone na podstawie kosztorysów oraz przeciętnej ceny rynkowej dla konstrukcji prefabrykowanej ustalonej przez Stowarzyszenie Energooszczędne Domy Gotowe wynoszącej 3 250 zł/m²,

KE_t – koszty użytkowania związane z przewidywanym zużyciem energii w poszczególnych wariantach realizacji przedsięwzięcia, określone jako iloczyn zużywanych w ciągu roku nośników energii i ich cen jednostkowych,

KU_t – koszty utrzymania budynku w należyтым stanie technicznym i estetycznym, obliczony jako koszt wymiany poszczególnego elementu budynku po upływie czasu jego założonej żywotności technicznej w standardowych warunkach jego eksploatacji,

WR_T – wartość rezydualna budynku w ostatnim roku obserwacji inwestycji, określona jako wartość odtworzeniowa budynku z uwzględnieniem stopnia jego zużycia technicznego,

r – stopa dyskontowa w ujęciu realnym.

Poniżej opisano założenia i dane początkowe, jakie przyjęto w analizie.

- Roczne zapotrzebowanie na energię budynku odpowiada wartościom określonym w projektowej charakterystyce energetycznej budynków w czterech analizowanych wariantach: konstrukcji murowanej oraz konstrukcji drewnianej szkieletowej, wykonanych w standardzie energetycznym określonym w przepisach techniczno-budowlanych obowiązujących od 1 stycznia 2021 r. (WT2021) oraz standardzie budownictwa pasywnego. Najważniejsze parametry charakterystyki energetycznej budynków zaprezentowano w Tabeli 4.1.
- Cenę gazu ziemnego przyjęto na podstawie „Taryfy PGNiG Obrót Detaliczny Sp. z o.o. w zakresie obrotu paliwami gazowymi nr 7”, grupa taryfowa W-2.1, cena za paliwo 10,658 gr/kWh, opłata abonamentowa 5,4 zł/m-c netto oraz „Z taryfy nr 7 dla usług dystrybucji paliw gazowych Polskiej Spółki Gazownictwa Sp. z o.o.” stawka zmienna 2,485 gr/kWh, stawka opłaty stałej 10,03 zł/m-c netto.
- Cenę energii elektrycznej pochodzącej z sieci elektroenergetycznej przyjęto na podstawie „Taryfa dla usług dystrybucji energii elektrycznej PGE Dystrybucja S.A.” Oddział Warszawa, grupa taryfowa G11, składnik zmienny 0,2226 zł/kWh, składnik stały 8,40 zł/m-c netto, cena sprzedaży 0,2989 zł/kWh.

Tabela 4.4.1. Charakterystyka energetyczna budynków w analizowanych wariantach

Lp.	Parametr	Jednostka	Murowany		Drewniany (szkielet)		Drewniany prefabrykowany
			WT2021	Pasywny	WT2021	Pasywny	
1.	Powierzchnia ogrzewana budynku	m ²	137,3	137,3	133,4	133,4	133,4
2.	Projektowe obciążenie cieplne budynku	W	4 632,0	3 729,0	4 556,0	3 681,0	4 556,0
3.	Zapotrzebowanie na energię użytkową	kWh/rok	5 119,1	3 896,2	5 305,0	3 962,7	5 305,0
4.	Zapotrzebowanie na energię końcową	kWh/rok	8 209,9	6 812,9	8 353,2	6 819,7	8 353,2
5.	Roczne zużycie gazu	kWh/rok	6 801,8	5 404,8	6 987,3	5 453,7	6 987,3
6.	Zużycie energii elektrycznej z sieci	kWh/rok	281,6	281,6	273,2	273,2	273,2
7.	Zużycie energii elektrycznej z paneli PV	kWh/rok	1 126,5	1 126,5	1 092,8	1 092,8	1 092,8
8.	Zapotrzebowanie na energię pierwotną	kWh/rok	8 326,9	6 790,1	8 505,6	6 818,7	8 505,6
9.	Wskaźnik EU	kWh/(m ² ×rok)	37,3	28,4	39,8	29,7	39,8
10.	Wskaźnik EK	kWh/(m ² ×rok)	59,8	49,6	62,6	51,1	62,6
11.	Wskaźnik EP	kWh/(m ² ×rok)	60,7	49,5	63,8	51,1	63,8

Źródło: opracowanie własne.

- Stopę dyskontową przyjęto na podstawie art. 19 rozporządzenia delegowanego Komisji (UE) nr 480/2014, na okres programowania 2014–2020 równą 4% w ujęciu realnym.

- Żywotność techniczną poszczególnych elementów budynku przyjęto na podstawie Tabeli 4.2.

Tabela 4.4.2. Okresy trwałości poszczególnych elementów budynków

Lp.	Rodzaj elementu	Okres trwałości w latach	
		min	max
Fundamenty			
1.	Betonowe i żelbetowe	200	300
Ściany			
2.	Drewniane szkieletowe	25	50*
3.	Murowane z betonu komórkowego	30	50
4.	Konstrukcje monolityczne	150	200
Stropy			
5.	Drewniane	45	80
6.	Żelbetowe monolityczne i prefabrykowane	130	150
Schody			
7.	Żelbetowe	120	150
8.	Drewniane	30	50
Dachy			
9.	Konstrukcji drewnianej	50	75
10.	Pokrycie dachówką	20	50
11.	Obróbki blacharskie, rynny	10	15
Ścianki działowe			
12.	Drewniane	40	50
13.	Murowane	80	100
	Płyty gipsowo-kartonowe*		50
Stolarka			
14.	Okna i drzwi zewnętrzne	35	50
15.	Drzwi wewnętrzne	40	60
16.	Oszklenie	20	25
Tynki			
17.	Wewnętrzne	40	60
18.	Zewnętrzne	30	50
Podłogi			
18.	Podłogi z desek dębowych	60	80
19.	Terakota	60	80
Instalacje			
20.	Przewody wodociągowe, kanalizacyjne, gazowe	25	50
21.	Zawory, kurki, baterie	10	12
22.	Piece i kuchnie gazowe	15	20
23.	Przewody centralnego ogrzewania i cwu	20	40
24.	Kotły c.o.	20	30
25.	Przewody instalacji elektrycznej	30	50
26.	Osprzęt instalacji elektrycznej	25	30

Lp.	Rodzaj elementu	Okres trwałości w latach	
		min	max
27.	Termy elektryczne	15	20
28.	Wentylacja mechaniczna*		25
29.	Panele PV*		25

*przyjęta autorska wartość trwałości

Źródło: Prystupa M., *Wycena nieruchomości i przedsiębiorstw w podejściu kosztowym*, Almamater Szkoła Wyższa, Warszawa 2012, za: *Wycena budynków – poradnik*, wyd. czwarte, WACETOB, Warszawa 2001.

- Stopień zużycia technicznego budynku, niezbędny do oszacowania wartości rezydualnej, obliczono z tzw. wzoru Rossa (czasem określanego też jako wzór Eytelweina), stosowanego w przypadku, gdy konserwacja oraz remonty obiektu wykonywano w sposób standardowy (przeciętny). Wzór ma postać:

$$S_{zt} = t \cdot \frac{(t + T_t)}{2T_t^2} \cdot 100\%$$

gdzie:

T_t – okres trwałości w latach,

pozostałe oznaczenia jak poprzednio.

- Koszt zwiększenia szczelności powietrznej budynków pasywnych (wskaźnik n_{50}) do wymaganego poziomu ($n_{50}=0,6$; poziom standardowy, przyjęty dla standardu WT2021 $n_{50}=1,5$) oraz wykonania testu szczelności po zakończeniu prac budowlanych określono jako 10% kosztów robocizny wykonania ścian zewnętrznych oraz pokrycia dachu.

4.2 Wyniki oceny LCC budynku zaprojektowanego w technologii tradycyjnej i w technologii drewnianej prefabrykowanej bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych

Podsumowanie kalkulacji kosztów cyklu życia budynku wykonanego w technologii murowej i standardzie energetycznym WT2021 zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 4.3. Koszty cyklu życia budynku murowanego WT2021

Lp.	Kategoria kosztów/rok	Rok obserwacji przedsięwzięcia			
		1	5	10	50
I	Koszty nabycia	419 258	419 258	419 258	419 258
II	Koszty użytkowania	1 276	5 907	10 761	28 502
III	Koszty utrzymania	0	0	844	95 472
IV	Wartość rezydualna	397 855	319 268	235 894	16 218
V	Koszt LCC	22 679	105 896	194 970	527 014

Źródło: opracowanie własne.

Wielkością mającą decydujący wpływ na poziom kosztu LCC są nakłady inwestycyjne ponoszone w trakcie realizacji budynku. Dla pięcioletniego okresu obserwacji udział pozostałych kosztów to

zaledwie 1,4% nakładów początkowych, natomiast dla okresu pięćdziesięciu lat koszty użytkowania i utrzymania stanowią 32,1% kosztów początkowych.

Wartość bieżąca kosztów w pięćdziesięcioletnim cyklu życia budynku wyniesie 537 074 zł netto, a niezbędne nakłady inwestycyjne wymagane do poniesienia w celu realizacji budynku stanowią 78,1% LCC.

Podsumowanie kalkulacji kosztów cyklu życia budynku wykonanego w technologii murowej i standardzie energetycznym pasywnym zamieszczono w Tabeli 4.4.

Tabela 4.4.3. Koszty cyklu życia budynku murowanego pasywnego

Lp.	Kategoria kosztów/rok	Rok obserwacji przedsięwzięcia			
		1	5	10	50
I	Koszty nabycia	428 297	428 297	428 297	428 297
II	Koszty użytkowania	1 099	5 089	9 272	24 558
III	Koszty utrzymania	0	0	844	98 541
IV	Wartość rezydualna	402 814	323 035	238 361	16 218
V	Koszt LCC	26 582	110 351	200 053	535 178

Źródło: opracowanie własne.

Wartość bieżąca kosztów w pięćdziesięcioletnim cyklu życia budynku wyniesie 546 099 zł netto, a niezbędne nakłady inwestycyjne wymagane do poniesienia w celu realizacji budynku stanowią 78,6% LCC.

Wariant pasywny jest mniej korzystny pod względem efektywności kosztowej kryterium decyzyjnego metody LCC w stosunku do wariantu energetycznego WT2021. Niższy koszt użytkowania budynku pasywnego w cyklu życia jest niewystarczający do skompensowania wyższych początkowych nakładów inwestycyjnych.

Podsumowanie kalkulacji kosztów cyklu życia budynku wykonanego w technologii drewnianej szkieletowej i w standardzie energetycznym WT2021 zamieszczono w Tabeli 4.5.

Tabela 4.5. Koszty cyklu życia budynku drewnianego WT2021

Lp.	Kategoria kosztów/rok	Rok obserwacji przedsięwzięcia			
		1	5	10	50
I	Koszty nabycia	393 020	393 020	393 020	393 020
II	Koszty użytkowania	1 295	5 996	10 924	28 932
III	Koszty utrzymania	0	0	844	86 483
IV	Wartość rezydualna	373 062	299 834	222 222	9 061
V	Koszt LCC	21 253	99 182	182 566	499 373

Źródło: opracowanie własne.

Wartość bieżąca kosztów w pięćdziesięcioletnim cyklu życia budynku wyniesie 515 375 zł netto, a niezbędne nakłady inwestycyjne wymagane do poniesienia w celu realizacji budynku stanowią 76,3% LCC.

Budynek wykonany w konstrukcji drewnianej WT2021 charakteryzuje się niższym o 21 699 zł netto w stosunku do wariantu murowanego WT2021 oraz o 29 863 zł netto w stosunku do wariantu murowanego pasywnego kosztem w pięćdziesięcioletnim cyklu życia. Kryterium decyzyjne LCC wskazuje wariant budynku drewnianego jako bardziej korzystny pod względem efektywności kosztowej.

Podsumowanie kalkulacji kosztów cyklu życia budynku wykonanego w technologii drewnianej szkieletowej i w standardzie energetycznym pasywnym zamieszczono w Tabeli 4.6.

Tabela 4.6. Koszty cyklu życia budynku drewnianego pasywnego

Lp.	Kategoria kosztów/rok	Rok obserwacji przedsięwzięcia			
		1	5	10	50
I	Koszty nabycia	412 805	412 805	412 805	412 805
II	Koszty użytkowania	1 101	5 098	9 289	24 602
III	Koszty utrzymania	0	0	844	90 766
IV	Wartość rezydualna	385 625	309 796	229 414	9 061
V	Koszt LCC	28 282	108 108	193 524	519 112

Źródło: opracowanie własne.

Wartość bieżąca kosztów w pięćdziesięcioletnim cyklu życia budynku wyniesie 539 444 zł netto, a niezbędne nakłady inwestycyjne wymagane do poniesienia w celu realizacji budynku stanowią 76,5% LCC.

Wariant pasywny jest mniej korzystny pod względem efektywności kosztowej kryterium decyzyjnego metody LCC w stosunku do wariantu energetycznego WT2021. Niższy koszt użytkowania budynku pasywnego w cyklu życia jest niewystarczający do skompensowania wyższych początkowych nakładów inwestycyjnych.

Podsumowanie kalkulacji kosztów cyklu życia budynku wykonanego w technologii drewnianej prefabrykowanej zamieszczono w tabeli 7.

Tabela 4.4 Koszty cyklu życia budynku drewnianego prefabrykowanego

Lp.	Kategoria kosztów/rok	Rok obserwacji przedsięwzięcia			
		1	5	10	50
I	Koszty nabycia	433 550	433 550	433 550	433 550
II	Koszty użytkowania	1 295	5 996	10 924	28 932
III	Koszty utrzymania	0	0	844	92 441
IV	Wartość rezydualna	411 615	331 187	246 027	9 904
V	Koszt LCC	23 230	108 359	199 291	545 019

Źródło: opracowanie własne.

Wartość bieżąca kosztów w pięćdziesięcioletnim cyklu życia budynku wyniesie 545 019 zł netto, a niezbędne nakłady inwestycyjne wymagane do poniesienia w celu realizacji budynku stanowią 79,5% wartości LCC.

Budynek wykonany w konstrukcji drewnianej prefabrykowanej charakteryzuje się wyższym o 45 645 zł netto w stosunku do wariantu drewnianego szkieletowego WT2021 oraz wyższym o 25 906 zł netto kosztem w stosunku do wariantu drewnianego szkieletowego pasywnego w pięćdziesięcioletnim cyklu życia. Kryterium

decyzyjne LCC wskazuje wariant budynku drewnianego jako bardziej korzystny pod względem efektywności kosztowej.

4.3 Wyniki oceny LCC budynku zaprojektowanego w technologii tradycyjnej i w technologii drewnianej prefabrykowanej z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych

Założenia:

- Wskaźnik emisji CO₂ dla gazu ziemnego przyjęto na podstawie dokumentu „Wartości opalowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2016 do raportowania w ramach Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2019” opublikowanego przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. Wartość ta wynosi 55,43 kg/GJ.
- Wskaźnik emisji CO₂ dla energii elektrycznej pobranej z sieci elektroenergetycznej przyjęto na podstawie dokumentu „WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego DLA ENERGII ELEKTRYCZNEJ na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2017 rok” opublikowanego przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. Wartość ta wynosi 778 kg/MWh.
- Koszt zewnętrzny ponoszony przez społeczeństwo, związany z negatywnym wpływem emisji produktów spalania nieodnawialnych paliw pierwotnych na zdrowie ludzi, niszczenie ekosystemów i budynków przyjęto równy 0,145 zł/kgCO₂.

Tabela 4.4.5. Koszty cyklu życia budynków w analizowanych wariantach z uwzględnieniem efektów zewnętrznych

Lp.	Wariant	LCC			
		1	5	10	50
I	Murowany WT2021	22 899	106 914	196 824	531 924
II	Murowany pasywny	26 763	111 189	201 579	539 220
III	Drewniany WT2021	21 477	100 219	184 455	504 378
IV	Drewniany pasywny	28 463	108 948	195 054	523 164
V	Drewniany prefabrykowany	23 454	109 396	201 181	550 024

Źródło: opracowanie własne.

Najniższy koszt cyklu życia z uwzględnieniem kosztu efektów zewnętrznych wykazuje wariant wykonania budynku w technologii drewnianej i w standardzie energetycznym WT2021.

Tabela 4.4.6. Koszty cyklu życia budynków w analizowanych wariantach bez efektów zewnętrznych

Lp.	Wariant	LCC			
		1	5	10	50
I	Murowany WT2021	22 679	105 896	194 970	527 014
II	Murowany pasywny	26 582	110 351	200 053	535 178
III	Drewniany WT2021	21 253	99 182	182 566	499 373
IV	Drewniany pasywny	28 282	108 108	193 524	519 112
V	Drewniany prefabrykowany	23 230	108 359	199 291	545 019

Źródło: opracowanie własne.

Najniższy koszt cyklu życia wykazuje wariant wykonania budynku w technologii drewnianej i w standardzie energetycznym WT2021



5 Wybór optymalnego standardu energetycznego budynku drewnianego z uwzględnieniem kryteriów LCA i LCC

Wybór optymalnego standardu energetycznego budynku drewnianego z uwzględnieniem kryteriów LCA i LCC został wykonany przy pomocy wielokryterialnej metody sum ważonych.

W procesie optymalizacji rozpatrzone zostały cztery warianty budowy domów drewnianych o następujących standardach energetycznych:

- Standard WT2021 dla domu szkieletowego wykonywanego na budowie,
- Standard pasywny dla domu szkieletowego wykonywanego na budowie,
- Standard WT2021 dla domu wykonywanego w technologii drewnianej prefabrykowanej,
- Standard pasywny dla domu wykonywanego w technologii drewnianej prefabrykowanej.

Jako kryteria oceny zostały wybrane:

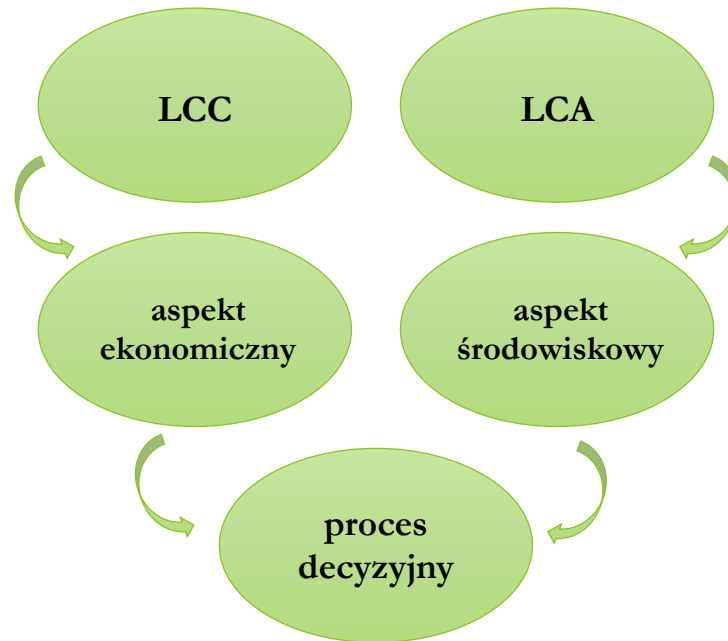
Dla analiz LCC:

- Minimum kosztów w cyklu pięćdziesięciu lat życia budynku z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych.

Dla analiz LCA:

- Minimum śladu węglowego w perspektywie pięćdziesięciu lat życia budynku.
- Minimum skumulowanego zużycia energii pierwotnej w perspektywie pięćdziesięciu lat życia budynku.
- Minimum ilości odpadów budowlanych w czasie budowy domu.

Schemat wyboru rozwiązań optymalnych z wykorzystaniem wyników analizy LCC i analizy LCA pokazano na poniższym rysunku.



Rysunek 5.1 Schemat wyboru rozwiązań optymalnych z wykorzystaniem wyników analizy LCC i analizy LCA

W Tabeli 5.1 zestawiono poszczególne warianty budowy domu drewnianego i odpowiadające im wartości dla ww. kryteriów optymalizacji

Tabela 5.1 Warianty budowy domu drewnianego i odpowiadające im wartości kryteriów optymalizacji

Kryterium	Wariant	Szkieletowy WT2021	Szkieletowy pasywny	Prefabrykowany WT 2021	Prefabrykowany pasywny
Minimum kosztów w cyklu pięćdziesięciu lat życia budynku z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych [PLN]		504 378,00	523 164,00	550 024,00	568 795,00
Minimum śladu węglowego w perspektywie pięćdziesięciu lat życia budynku [Mg CO ₂ e.]		111,40	126,39	111,40	126,39
Minimum skumulowanego zużycia energii pierwotnej w perspektywie pięćdziesięciu lat życia budynku [GJ]		2 160,06	1 982,66	2 160,06	1 982,66
Minimum ilości odpadów budowlanych w czasie budowy domu [kg]		3 082,29	3 163,23	1 826,95	1 867,33

W wyniku zastosowania metody sum ważonych przy wagach 0,25 dla każdego kryterium jako wariant optymalny przyjęto dom drewniany prefabrykowany w standardzie energetycznym WT 2021.

6 Ocena korzyści środowiskowych wynikających ze znacznego wzrostu budowy domów mieszkalnych w technologii drewnianej w Polsce w perspektywie 2025 roku

Zgodnie z danymi zamieszczonymi w tabeli w 2018 roku oddano do użytku: 180 897 sztuk mieszkań o średniej powierzchni użytkowej 74 m² w tym tylko 674 mieszkania wybudowane w technologii drewnianej. Gdy przyjmie się założenie, że w 2025 roku rocznie budowanych będzie 200 tysięcy mieszkań o średniej powierzchni użytkowej 75 m² i 5% z tych mieszkań będzie wykonanych w technologii drewnianej to wyniki biorąc wyniki analizy LCA z rozdziału 3 może stwierdzić, że

- ślad węglowy w perspektywie pięćdziesięciu lat życia budynków wybudowanych w 2025 roku zmniejszy się o 246 tysięcy MgCO₂ – liczba ta odpowiada emisji dwutlenku węgla, który zostanie wyemitowany przez 1 samochód podczas przejechania ponad 2 mln km, lub przejechaniu trasy z Gdańska do Wenecji (tam i z powrotem) przez 600 samochodów,
- skumulowane zużycie energii pierwotnej w perspektywie pięćdziesięciu lat życia budynków wybudowanych w 2025 roku zmniejszy się o 528 tysięcy GJ – liczba ta odpowiada energii potrzebnej w ciągu roku dla ponad 154 tysięcy osób, czyli np. wszystkich mieszkańców Jeleniej Góry i Mysłowic (sektor mieszkaniowy; dot. zużycia energii elektrycznej i ciepła),
- nie powstanie 20 tysięcy Mg odpadów budowlanych – liczba ta odpowiada odpadom komunalnym produkowanym przez rok przez ponad 6400 osób lub pojemności 100 towarowych wagonów kolejowych.

Gdyby udało się doprowadzić do sytuacji, że 10% z mieszkań budowanych w 2025 będzie wykonanych w technologii drewnianej to sumaryczne wyniki analizy LCA przedstawiają się następująco:

- ślad węglowy w perspektywie pięćdziesięciu lat życia budynków wybudowanych w 2025 roku zmniejszy się o 492 tysiące MgCO₂,
- skumulowane zużycie energii pierwotnej w perspektywie pięćdziesięciu lat życia budynków wybudowanych w 2025 roku zmniejszy się o ponad 1 milion GJ,
- nie powstanie 40 tysięcy Mg odpadów budowlanych.

Jeśli weźmiemy pod uwagę analizę LCC (rozdział 4) z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych, które w swoisty sposób opisują oddziaływanie budynku na środowisko i przyjmując założenia odnośnie budynków wykonywanych w 2025 jak dla LCA to, gdy 5% mieszkań będzie wykonanych w technologii drewnianej to oszczędności kosztów w perspektywie pięćdziesięciu lat życia budynków wybudowanych w 2025 roku wyniosą: 160 mln zł

Natomiast jeśli 10% mieszkań będzie wykonanych w technologii drewnianej to oszczędności kosztów w perspektywie pięćdziesięciu lat życia budynków wybudowanych w 2025 roku wyniosą: 319 mln zł.

7 Przykłady dobrych praktyk dotyczących mechanizmów wsparcia budownictwa drewnianego

Jak opisano we wcześniejszych rozdziałach, budownictwo drewniane, pomimo wielu zalet, nie cieszy się dużym powodzeniem w Polsce. W związku z tym, w niniejszym rozdziale przedstawiono szereg dobrych praktyk dotyczących mechanizmów wsparcia, wpływających na rozwój budownictwa drewnianego. Opisywane działania przyniosły pozytywne rezultaty w zakresie rozwoju rynku technologii drewnianych, w tym także rozwiązań innowacyjnych, a ponadto mogą być replikowane w części lub w całości w innych miastach i krajach.

Dobre praktyki obejmują następujące mechanizmy wsparcia:

- działania edukacyjno-informacyjne – działania mające na celu podniesienie świadomości społeczeństwa na temat zalet budownictwa drewnianego, takich jak: energooszczędność, ochrona środowiska, krótki czas budowy, a także obalenie mitów dotyczących budynków drewnianych, które przekładają się na preferowanie tradycyjnego, bardziej energochłonnego budownictwa,
- wsparcie finansowe – programy dotacyjne, pożyczkowe na realizację przedsięwzięć oraz innych działań miękkich,
- działania legislacyjne – działania związane z opracowaniem odpowiednich norm/przepisów w celu zapewnienia optymalnej jakości budynków z drewna.

W związku z tym, że budownictwo drewniane najbardziej popularne jest w Ameryce Północnej (głównie Kanadzie), Skandynawii oraz w Niemczech, poniżej przedstawiono działania realizowane w tych krajach, które dodatkowo zwiększają rozwój budownictwa drewnianego, w tym również innowacyjnych rozwiązań technologicznych w tym zakresie.

7.1 Przykłady dobrych praktyk w Kanadzie

Sektor budowlany jest jedną z największych i najważniejszych gałęzi przemysłu Kanady biorąc pod uwagę liczbę działających firm i instytucji, zróżnicowanie pod względem działalności oraz liczbę zatrudnionych osób (...). Kanadyjski sektor budowlany jest piąty pod względem wielkości na świecie i szacuje się, że do 2024 r. zatrudni ok. 322 tys. nowych pracowników (wzrost o 7%).⁶⁵

Drewno jest najpopularniejszym materiałem budowlanym w Kanadzie. Dotyczy to zwłaszcza zabudowy mieszkaniowej, zarówno domów jednorodzinnych jak również bliźniaków i niskich budynków wielorodzinnych. Wynika to z powszechnej dostępności surowca jakim jest drewno, jako że przemysł drzewny jest podstawowym sektorem gospodarki wszystkich regionów Kanady. Budynki stawiane są w lekkiej, szkieletowej konstrukcji drewnianej określanej jako „platform framing”.

W konstrukcji ścian zewnętrznych stosuje się elementy z drewna litego szerokości 140 mm. Nad poszczególnymi otworami okiennymi i drzwiowymi stosuje się nadproża, które zwiększają liczbę

⁶⁵ Raport Sektorowy. Sektor budowlany w Kanadzie, Polska Agencja Inwestycji i Handlu, Grupa PFR, Warszawa 2018, https://www.google.com/url?sa=t&rt=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=2abUKEmjYpYCVm-zkAbWjyIsKHZ_WBcoQFjAFegQICBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.paib.gov.pl%2Ffiles%2F%3Fid_plik%3D34083&usq=AOvVaw1GbSMn11XU7mp8kxj1dzX, dostęp 25.09.2019

slupków w ścianach. Ściana wypełniona jest materiałem izolacyjnym, w większości wełną szklaną. Usztywnienie konstrukcji stanowi drewnopochodna płyta mocowana po zewnętrznej stronie ścian zewnętrznych. Elewację stanowi okładzina drewniana, ceglana, tynk na podkładzie ze styropianu lub popularny siding winylowy. Dachy są najczęściej pokryte dachówką bitumiczną (...).⁶⁶

Kanadyjczycy nadal dążą do rozwoju sektora budownictwa drewnianego, ale obecnie skupia się to głównie na zabudowie niemieszkańkowej i wysokościowej. Nacisk jest kładziony na innowacyjność i popularyzację drewna w przestrzeniach, w których nie było ono do tej pory wykorzystywane.

Poniżej opisano programy wspierające rozwój rynku budownictwa drewnianego, które przynoszą i przynosiły największe rezultaty.

7.1.1 Program Tall Wood Building Demonstration Initiative

Częścią rządowego planu Kanady jest wspieranie mieszkańców w okresie gwałtownych zmian gospodarczych. Wśród zadań realizowanych w ramach tego celu znalazło się również wspieranie innowacji w sektorze budowlanym i walka ze zmianami klimatu. To właśnie wykorzystanie drewna w infrastrukturze może pomóc w przeciwdziałaniu zmianom klimatu poprzez magazynowanie węgla w budynkach i unikanie zanieczyszczenia gazami cieplarnianymi, co związane jest z innymi materiałami o dużej emisji dwutlenku węgla.

Program Tall Wood Building Demonstration Initiative (TWBDI)⁶⁷ był pierwszym programem zainicjowanym przez Rząd Kanady, dotyczącym budowy wysokich budynków w konstrukcji drewnianej. Program jest zarządzany przez departament Natural Resources Canada. W latach 2013–2017 w ramach Programu zainwestowano 5 mln USD. Głównym celem programu było pokazanie opłacalności komercyjnej realizacji wysokich budynków w konstrukcji drewnianej. Inicjatywa ta pozwoliła na dodatkowe badania i działania rozwojowe wymagane do projektowania, zatwierdzania i budowy wysokich budynków drewnianych.

Program TWBDI sfinansował dwa innowacyjne wysokie budynki z drewna. Pierwszy budynek to 18-piętrowa hybrydowa rezydencja studencka z drewna masowego na University of British Columbia w Vancouver. Był to pierwszy budynek wykonany z drewna, stali i betonu, którego wysokość przekracza 14 kondygnacji. Do niedawna był też najwyższym współczesnym drewnianym budynkiem na świecie⁶⁸ (53 m). Fundusze TWBDI (2,33 mln USD) umożliwiły zaprojektować, zatwierdzić, wybudować oraz przeprowadzić testy strukturalne i przeciwpożarowe.

Innym budynkiem objętym wsparciem w ramach projektu TWBDI jest Origine – 13-sto kondygnacyjny budynek wielorodzinny z drewna masowego w Quebec City, w którym znajdują się klatki schodowe i szyby wind wykonane z drewna klejonego krzyżowo. Dofinansowanie tego budynku wynosiło 1,2 mln USD. Jest to najwyższy budynek mieszkalny w Ameryce Północnej.

⁶⁶ Raport Sektorowy. Sektor budowlany w Kanadzie, Polska Agencja Inwestycji i Handlu, Grupa PFR, Warszawa 2018, https://www.google.com/url?sa=t&ret=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=2abUKEwifpYCVm-zkAbWypIsKHZ_WBcoQFjAFegQICBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.paih.gov.pl%2Ffiles%2F%3Fid_plik%3D34083&usq=AOvVaw1GbSMn11XUr7mp8kxj1dZx, dostęp 25.09.2019

⁶⁷ <https://www.nrcan.gc.ca/science-data/funding-partnerships/funding-opportunities/forest-sector-funding-programs/expanding-market-opportunities-p/tall-wood-building-demonstration-initiative-twbd/20176>, dostęp: 12.09.2019

⁶⁸ Aktualnie przerysująca go 18-sto piętrowy budynek o wysokości 85 m Mjostårnet w Norwegii.

7.1.2 Program Green Construction through Wood

Kontynuacją programu TWBDI, opisywanego wcześniej było ustanowienie w 2017 r. przez Rząd Kanady programu Green Construction through Wood (GCWood)⁶⁹. Budżet programu obejmuje dofinansowanie w kwocie 39,8 mln USD w latach 2018-2019. Program również zarządzany jest przez departament Natural Resources Canada. GCWood ma zachęcić do większego wykorzystania drewna poprzez wsparcie dla wysokich i niskich budynków oraz mostów z drewna. Program zapewnia bezzwrotny wkład w wysokości nawet do 100% kosztów kwalifikowalnych projektu, czyli związanych z innowacyjnością produktów i systemów z drewna oraz charakterystycznych tylko i wyłącznie dla tego typu budownictwa. Program zakłada możliwość replikowania innowacyjnych rozwiązań. Finansowanie ma na celu zrekompensowanie kosztów bycia pionierami w realizacji przedsięwzięć budowlanych (budynków wysokich) w konstrukcji drewnianej, a także wsparcie rozwoju wiedzy i narzędzi wspierających sukces przyszłych projektów.

W ramach projektu GCWood prowadzone są również badania, które zajmują się luką w danych technicznych potrzebnych do wprowadzenia zmian w kanadyjskim kodeksie budowlanym, aby umożliwić budowę wysokich drewnianych budynków powyżej obecnego limitu 6 kondygnacji.

Przewiduje się, że Program GC Wood przyniesie korzyści w wielu obszarach: środowiskowym (zmniejszone emisje gazów cieplarnianych z odnawialnych i zrównoważonych zasobów oraz innowacyjne, energooszczędne projekty budynków), społecznym (nowe miejsca pracy i możliwości rozwoju, zwiększenie zasobów niedrogich mieszkań, nowe możliwości dla mieszkańców obszarów wiejskich oraz działalności leśnej) oraz gospodarczym (zwiększenie przychodów, zmniejszenie kosztów wykorzystania drewna, nowe lub zróżnicowane technologie budynków).

7.1.3 Canadian Wood Council

Canadian Wood Council (CWC)⁷⁰ reprezentuje kanadyjski przemysł obejmujący wyroby z drewna za pośrednictwem tzw. Krajowej Federacji Stowarzyszeń. Misją CWC jest rozszerzenie dostępu do rynku i zwiększenie popytu na kanadyjskie produkty z drewna poprzez doskonalenie przepisów budowlanych, standardów i edukacji.

Działania CWC obejmują:

- prowadzenie Sekretariatu kanadyjskiego standardu projektowania drewna (CSA O86 „Engineering Design in Wood”), co zapewnia zarówno ekspertyzy techniczne, jak i wsparcie administracyjne,
- uczestnictwo w procesie opracowywania Kodów Budowlanych w Kanadzie,
- udział w opracowywaniu kanadyjskich, amerykańskich i międzynarodowych standardów dla producentów drewnianych produktów budowlanych,
- udział w opracowywaniu kanadyjskich, amerykańskich i międzynarodowych standardów testowych w obszarach wpływających na produkty z drewna, takich jak odporność na ogień.

Podstawową rolą CWC jest przekazanie wiedzy technicznej dla budowniczych, architektów i inżynierów, którzy określają drewno w budownictwie, poprzez:

⁶⁹ <https://www.nrcan.gc.ca/science-data/funding-partnerships/funding-opportunities/forest-sector-funding-programs/green-construction-through-wood-gcwood-program/20046>, dostęp: 12.09.2019

⁷⁰ <https://cwc.ca/>, dostęp 26.09.2019

- zapewnienie niezbędnych narzędzi technicznych i wsparcia w terenie potrzebnego do projektowania z użyciem drewna, co obejmuje opracowanie i dystrybucję instrukcji technicznych, narzędzi internetowych, oprogramowania do projektowania oraz opcji HelpDesk,
- prowadzenie programu edukacyjnego dla sektora budowlanego z partnerami rynkowymi pod nazwą Wood WORKS!,
- publikowanie magazynu Wood Design & Building i wkładki do czasopisma, a także organizowanie różnych programów i wydarzeń z nagrodami.

Program Wood WORKS! odgrywa bardzo ważną rolę w zwiększaniu wykorzystania drewna w budownictwie poprzez ścisłą współpracę ze społecznością budowlaną i rządami na rzecz szerszego wykorzystania drewna. Szczegóły programu oraz wszelkie informacje zamieszczone są na stronie internetowej: <http://wood-works.ca>.

Canadian Wood Council również posiada stronę internetową (<https://cwc.ca>), na której publikowane są publikacje, narzędzia oraz podstawowe informacje o CWC oraz ich działaniach.

7.1.4 Program Ontario's Mass Timber

Poza programami realizowanymi w całej Kanadzie, warto nadmienić także o bardziej regionalnych inicjatywach. W 2015 r. w prowincji Ontario wprowadzono zmiany w Kodeksie budowlanym związane z zastosowaniem konstrukcji szkieletowej z drewna w budynkach o średniej wysokości do sześciu kondygnacji. Od tej pory wiele projektów zostało zaprojektowanych i zbudowanych zgodnie z tymi nowymi wymogami Kodeksu budowlanego. Ontario inwestuje 7,8 mln USD w badania, edukację i budowę wysokich drewnianych budynków. Plan działania na rzecz zmian klimatu i rynek emisji dwutlenku węgla stanowią podstawę strategii Ontario w celu zmniejszenia zanieczyszczenia gazami cieplarnianymi o 80 procent do 2050 r. Oprócz korzyści dla środowiska, masowo realizowane konstrukcje drewniane będą miały niższe koszty budowy ze względu na krótszy czas budowy, przy jednoczesnym zachowaniu standardów bezpieczeństwa przeciwpożarowego.

W celu promowania wykorzystania drewna w konstrukcjach budynków wysokich i wysokościowych został opracowany Ontario's Mass Timber Program⁷¹. Jest on finansowany i zarządzany przez rząd Ontario. Program obejmuje:

- zapewnienie finansowania badań i rozwoju innowacyjnych produktów z drewna, podejmowanych zarówno przez akademickie jak i prywatne organizacje badawcze, w celu wspierania potencjalnych zmian w prawie budowlanym dotyczących drewna i innych norm,
- finansowanie kształcenia policealnego technicznego oraz tworzenia narzędzi związanych z wykorzystaniem drewna w budownictwie,
- wspieranie utworzenia instytutu badań nad drewnem w Ontario we współpracy z naukowcami, uniwersytetami i uczelniami wyższymi,
- promocja wykorzystania drewna masowego w projektowaniu, budowaniu i bezpieczeństwie przeciwpożarowym wysokich budynków drewnianych (siedem kondygnacji i więcej), w tym cztery projekty pilotażowe.

Dotychczas, w ramach programu przeznaczono 3,15 mln USD na badania i rozwój nowej generacji produktów i systemów budownictwa masowego poprzez partnerstwo z instytucjami naukowymi.

⁷¹ <https://news.ontario.ca/mnr/en/2018/04/ontarios-mass-timber-program.html>, dostęp: 12.09.2019

Opracowany został przewodnik Ontario High Wood Reference po testach wytrzymałościowych łączy drewna i odporności wysokich budynków z drewna na obciążenia mechaniczne i zagrożenia pożarowe. Publikacja ta uwzględnia alternatywne rozwiązania, które mogą być realizowane w ramach Kodeksu budowlanego Ontario, aby pomóc architektom, inżynierom, pracownikom budowlanym i przeciwpożarowym oraz deweloperom w opracowaniu bezpiecznych alternatywnych rozwiązań dla wysokich i wysokościowych budynków z drewna.

Innym rodzajem prowadzonych działań było wsparcie specjalistycznych szkoleń dla architektów, inżynierów, projektantów, budowniczych, nauczycieli i specjalistycznych zawodów (budżet 2,2 mln USD). W tym celu założony został Mass Timber Institute of Ontario, w którym poza szkoleniami, dodatkowo przeprowadzane badania w zakresie nowych rozwiązań.

Jak wspomniano wcześniej program uwzględniał również dofinansowanie projektów demonstracyjnych wysokich budynków z drewna. Jednym z nich ma być dom studencki należący do The University of Toronto, który ma liczyć 14 pięter. Początek budowy domu studenckiego jest ustalony na koniec roku 2019 r. Program wspiera również budowę trzech innych wysokich budynków stworzonych w większości z drewna. Łączny budżet tej części programu wynosi 2,45 mln USD.

7.2 Przykłady dobrych praktyk w Norwegii

W norweskiej architekturze drewno ma bardzo wysoki potencjał rozwojowy co wynika z powszechnej dostępności tego surowca oraz długiej tradycji. Pomimo tego faktu w latach 60. XX w. (co pokrywało się z odkryciem norweskich złóż ropy naftowej) drewno zaczęło być marginalnym produktem budowlanym stosowanym jedynie w architekturze niewielkich obiektów, takich jak domki letniskowe. Przemysł drzewny przestał być w tamtym okresie kluczową gałęzią przemysłu, sam surowiec uznany został za przestarzały, jego ceny bardzo spadły, a wszelkie badania skierowane zostały na rozwój technologii z wykorzystaniem betonu i stali (w związku z rozwijającym się nowym sektorem gospodarki).

Stan taki trwał przez kolejnych 30 lat, aż do lat 90. XX w., kiedy nastąpił stopniowy powrót do architektury drewnianej. Ponownie dostrzeżono wtedy potencjał drewna jako „nowoczesnego”, rozwojowego i ekologicznego surowca, a norweski rząd postawił sobie za cel wypromowanie drewna jako współczesnego materiału budowlanego i konstrukcyjnego. Przelamaniu dotychczasowych trendów sprzyjały w pierwszej kolejności zamówienia publiczne na obiekty skonstruowane z dużym udziałem drewna, a następnie liczne programy, które miały na celu zarówno rozwój nowych technologii w budownictwie drewnianym jak i jego promocję poprzez finansowanie poszczególnych konkretnych projektów oraz zwiększanie świadomości całego społeczeństwa.

Obecnie zarówno środowisko budowlane jak i norweskie społeczeństwo odznaczają się dużą świadomością potrzeby realizacji zrównoważonej infrastruktury. Przemysł drzewny i drewniane budownictwo stały się ponownie ważnymi sektorami gospodarki, a drewno jako materiał budowlany jest postrzegane jako „modne” i ekologiczne. Jest to surowiec pożądaný zarówno w budynkach jednorodzinnych jak i w ciasnej zabudowie miejskiej.

7.2.1 Budownictwo drewniane w ramach zamówień publicznych

Przełomem w popularyzacji drewna i odwróceniu dawnych trendów były zamówienia publiczne na duże obiekty z kluczowym wykorzystaniem drewna. Procedury udzielania zamówień publicznych w Norwegii nie odbiegają od tych przewidzianych w dyrektywach unijnych. W przypadku tej praktyki to nie sposób przygotowywania zamówień publicznych stanowi dobrą praktykę, ale fakt, że to Rząd odgrywa kluczową rolę w promocji budownictwa drewnianego poprzez dawanie przykładu,

działalność wspierającą i motywującą, inwestycje w zwiększanie wiedzy i doświadczenia, rozpowszechnianie rezultatów działań i badań.

Pierwszym z nich był stadion Hamar Olympic Hall wybudowany w 1992 r. w związku z odbywającymi się w Norwegii dwa lata później zimowymi igrzyskami olimpijskimi. Był to wtedy największy na świecie halowy stadion sportowy, a cała konstrukcja wsporcza dachu wykonana została właśnie z drewna. Promował drewno jako surowiec nie tylko poprzez rozmiary projektu, ale także poprzez kształt nawiązujący do odwróconego statku Wikingów, co jest odwołaniem do norweskiej historii i tradycji.

Drugim obiektem był budynek lotniska Oslo-Gardemoen (z 1998 r.), do którego wzniesienia wykorzystano materiały koncentruje się na betonie, szkłe i właśnie drewnie. Budynek terminalu ma prostą konstrukcję dachu, wspartą dużymi drewnianymi belkami.

7.2.2 Program Massive Wood

Program Massive Wood⁷² rozpoczął się w 1997 r. i został zakończony w roku 2000. Program bazuje na sukcesie realizowanego wcześniej programu The Nordic Timber Bridge Programme (program czterech państw nordyckich: Dani, Szwecji, Finlandii i Norwegii, którego efektem miało być zwiększenie liczby drewnianych mostów zamiast mostów stalowych i betonowych). Norwegia wspólnie z Finlandią i Szwecją rozpoczęła eksperymentalny program badawczy, który zaowocował trzema projektami pokazowymi, w tym m. in. realizacją tymczasowej restauracji z salą konferencyjną zaprezentowanej w czasie wystawy Expo 2000 w Hanowerze.

Program po realizacji trzech projektów zakończył się, ale rząd ogłosił dotacje dla pojedynczych budynków, które skutkowały budową kolejnych „sztandarowych” obiektów przecierających szlaki dla nowoczesnej architektury drewnianej. Najbardziej znanym jest dom studencki w Trondheim ukończony w 2005 r.

7.2.3 Program Norwegian Wood⁷³

Norwegian Wood jest jednym z największych i najbardziej oddziałujących na społeczeństwo projektów nie tylko w Norwegii, ale też ogólnie w państwach skandynawskich. Został zorganizowany przez władze miasta Stavanger w ramach pełnienia roli Europejskiego Miasta Kultury w 2008 r., a zarządzało nim Norweskie Stowarzyszenie Architektów (NAL). Zaangażowanych było również wiele innych podmiotów zarówno lokalnych jak i państwowych. Projekt trwał przez cztery lata i został zakończony w 2008 r. Głównym celem projektu było przetestowanie nowych pomysłów i projektów w praktyce oraz stworzenie możliwości pogłębiania wiedzy i rozwoju rynku budownictwa drewnianego.

W ramach tego programu zrealizowanych zostało 15 przykładowych projektów budowlanych⁷⁴ z innowacyjną i przyjazną dla środowiska architekturą drewnianą. Były to między innymi 73 samodzielne budynki mieszkalne o niskim zużyciu energii oraz 58 mieszkań komunalnych i przedszkole. Kryteriami decydującymi o wyborze danego projektu były: niskie zużycie energii, zasady uniwersalnego projektowania, stosowanie materiałów przyjaznych dla środowiska oraz nowe, racjonalne, drewniane systemy budowlane. Była to okazja do przeprowadzenia licznych testów,

⁷² http://www.fourthdoor.org/annular/?page_id=1281, dostęp: 18.09.2019

⁷³ <https://www.arkitektur.no/norwegianwood>, dostęp: 18.09.2019

⁷⁴ Lista projektów zrealizowanych i niezrealizowanych znajduje się na stronie: <https://www.arkitektur.no/english3>, dostęp: 18.09.2019

między innymi akustycznych i dotyczących bezpieczeństwa pożarowego oraz izolacji. W rywalizacji o realizację projektów wzięło udział 140 zespołów złożonych z czołowych światowych inżynierów i architektów.

W celu rozpowszechniania wiedzy, doświadczeń i inspiracji zarówno wszystkie zrealizowane jak również tylko planowane projekty (których było dodatkowo 10) były prezentowane poprzez różne środki masowego przekazu. Organizowano też liczne podróże studyjne, wystawy i warsztaty.

Na zakończenie projektu przez Norweskie Stowarzyszenie Architektów zorganizowana została Norweska Konferencja Drewna z wiodącymi ekspertami z Norwegii i Europy. Przedstawione na niej zostały rezultaty programu Norwegian Wood w świetle międzynarodowych standardów architektury drewnianej.

Mimo że projekt został uznany za zakończony w 2008 r., to wystawa Norwegian Wood była w trasie jeszcze przez cztery lata i cieszyła się bardzo dużą popularnością. W jednej z miejscowości na trasie – Ålesund odwiedziło ją 12 000 osób.

W wyniku Norwegian Wood zainicjowane zostały projekty badawczo-rozwojowe⁷⁵ (w sumie było ich 9), które były ściśle powiązane z wyzwaniem poszczególnych projektów budowlanych. Były to między innymi: „Nowoczesne, zrównoważone i tanie fasady drewniane”, „Energooszczędne i drewniane konstrukcje ścian zewnętrznych i dachów” oraz „Opracowywanie elementów budowlanych z masywnego drewna o walorach akustycznych”. Wszystkie projekty były finansowane przez programy rządowe (np. Innovation Norway), środki krajowe i banki (Husbanken).

Obecni inwestorzy mogą czerpać wiedzę z opracowanych w ramach tego projektu wytycznych, raportów i sprawozdań z projektów oraz badań.

7.2.4 Nagroda Treprisen

Treprisen⁷⁶ jest honorową nagrodą za architekturę drewnianą w Norwegii i jest przyznawana architektom w zakresie właściwego użytkowania i obróbki drewna norweskiego jako materiału budowlanego, za rozwiązania artystyczne i techniczne. Ustanowiona została już w 1961 r. Obecnie zarządza nią firma TreFokus (firma informacyjno-komunikacyjna należąca do branży leśnej i drzewnej, skierowana do branży budowlanej i użytkowników końcowych z informacjami na temat prawidłowego wykorzystania drewna) przy współpracy z Norweskim Stowarzyszeniem Architektów.

Nagroda Treprisen nie wiąże się z żadnymi korzyściami finansowymi, ale prestiż nagrody podkreśla uznanie dla laureatów za racjonalne i innowacyjne wykorzystanie drewna w architekturze. Nagrodzone projekty muszą być uniwersalne, tj. możliwe do realizacji w różnych warunkach lokalizacyjnych, ale również ponadczasowe. Projekty laureatów powinny również podkreślać wszechstronność rozwiązań – drewno jest dobrze wykorzystywane w połączeniu z innymi materiałami.

⁷⁵ Lista projektów wraz z informacją na temat finansowania, zleceniodawcy oraz kierownika projektu znajduje się na stronie <https://www.arkitektur.no/english3>, dostęp 18.09.2019

⁷⁶ <https://www.arkitektur.no/treprisen2>, dostęp 18.09.2019

Zwycięzca nagrody drzewnej jest nominowany przez jury. Nagrodę można przyznać dwóm lub więcej architektom wspólnie, jeśli wspólnie pracowali nad budynkiem lub budynkami, które kwalifikują ich do nagrody drzewnej.

7.2.5 Projekt badawczy Wood Be Better

Projekt badawczy Wood Be Better (WBB)⁷⁷ rozpoczął się w 2013 r. jako interdyscyplinarny projekt finansowany z programu BIONÆR Norweskiej Rady ds. Badań Naukowych. Głównym celem jest zdobycie i upowszechnienie wiedzy, która zwiększy wykorzystanie drewna w budynkach na obszarach miejskich.

Prowadzone działania obejmują badania⁷⁸, publikacje⁷⁹ oraz serię kursów, podczas których studenci opracowują architekturę drewna w lokalizacjach miejskich. W ramach tego projektu przeanalizowano między innymi potencjał budowy z drewna obiektów od 2 do 8 kondygnacji w Oslo i Akershus.

7.2.6 Program Wood-based Innovation Scheme 2008

Program Wood-based Innovation Scheme 2008⁸⁰ jest administrowany i finansowany przez Innovation Norway. Stał się on potężnym narzędziem rządu norweskiego oferującym wsparcie finansowe w postaci bezpośrednich dotacji na innowacje, badania i rozwój dla dużych i małych przedsiębiorstw, które przyczyniają się do rozwoju współczesnych technologii drewnianych – od tartaku, poprzez zakłady produkcyjne, firmy deweloperskie i biura architektoniczne. Program rozpisano na okres 5 lat (2008-2013), a jego budżet wynosił 14 mln NOK (ok. 1,75 mln EUR).

7.3 Przykłady dobrych praktyk w Niemczech

Pierwszy projekt domu energooszczędnego o konstrukcji drewnianej powstał w Niemczech w latach 70. w momencie wybuchu kryzysu paliwowego, który wymusił konieczność oszczędzania energii. Niemieccy politycy szukali rozwiązań, które zmniejszyłyby energochłonność w budownictwie – postawiono na rozwój technologii związanych z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, które zaspokoilyby zapotrzebowanie na energię w budynkach zarówno użyteczności publicznej, jak i w budownictwie jednorodzinym.

Obecnie co szósty dom w Niemczech jest wykonany z drewna, a w Badenii-Wirtembergii nawet co trzeci. Stale rosnący trend wykorzystywania tego materiału budowlanego wiąże się m.in. z próbą rozwiązania problemu braku wystarczającej przestrzeni życiowej w miastach. Ze względu na swoje właściwości statyczne i ekologiczne powstaje tam coraz więcej wielopiętrowych konstrukcji drewnianych.

Niemiecki rynek budownictwa drewnianego rozwija się dużo szybciej niż ogólnie ujmowany rynek budowlany. W 2004 r. trzeci rząd federalny przyjął tzw. „Kartę drewna”, która stawiała ogólnokrajowy cel zwiększenia zużycia drewna na mieszkańca w Niemczech o 20% do 2014 r. Już w 2006 r. wskaźnik budownictwa drewnianego w Niemczech wynosił 14% dla domów z jednym lub

⁷⁷ <https://abo.no/no/forskning/wbb&prev=search>, dostęp 18.09.2019

⁷⁸ Obszary prowadzonych badań można znaleźć pod adresem: <https://abo.no/no/forskning/wbb/research>, dostęp 18.09.2019

⁷⁹ <https://abo.no/no/forskning/wbb/publications>, dostęp 18.09.2019

⁸⁰ [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:E2009C0312\(03\)&from=RO](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:E2009C0312(03)&from=RO), dostęp 18.09.2019

dwoma mieszkaniami. Cel z „Karty drewna” został zrealizowany w 2012 r. – czyli 2 lata przed zaplanowanym terminem. W 2016 r. wskaźnik budownictwa drewnianego w Niemczech wyniósł już 18,2%. Taka sytuacja znaczącego wzrostu wykorzystania surowca drzewnego jest możliwa dzięki wsparciu rynku przez liczne dofinansowania, działania promocyjno-informacyjno-edukacyjne oraz zmiany legislacyjne.

7.3.1 Innowacyjny Program Drzewny

Ministerstwo Spraw Wiejskich i Ochrony Konsumentów wspiera projekty, które koncentrują się na dostarczaniu, przetwarzaniu i wykorzystaniu drewna, przy wsparciu finansowym z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego i zasobów państwowych. Innowacyjny Program Drzewny⁸¹ jest skierowany do osób fizycznych i prawnych. Dofinansowanie obejmuje obszary finansowania klastrowego, badań stosowanych oraz innowacji w budownictwie drewnianym.

Pierwszym z elementów Innowacyjnego programu drzewnego jest finansowanie klastrowe, które ma na celu przyczynić się do wzmocnienia firm oraz wsparcia realizowanych przez nich obiektów. W ramach tej części programu finansowane są takie projekty jak:

- funkcjonowanie ogólnokrajowej struktury zarządzania siecią dla Leśnictwa i Klastra Drzewnego, w tym jego działania, badania i projekty,
- ustanowienie i funkcjonowanie regionalnych lub tematycznych struktur zarządzania siecią, w tym Klastra Leśnictwa i Drewna lub ich podsektorów, w tym ich działań, badań i projektów,
- projekty współpracy krajowej, w tym działania i badania,
- projekty współpracy regionalnej lub tematycznej, w tym działania i badania.

Kolejnym elementem jest wsparcie badań stosowanych, co ma na celu stymulowanie rozwoju nowych lub zoptymalizowanych produktów z drewna, a także procesów związanych z procesem produkcji i logistyki. Powinno to pomóc w zwiększeniu udziału surowców i materiałów odnawialnych w celu zachowania ograniczonych zasobów i zmniejszenia emisji CO₂. Finansowanie jest zapewnione na projekty w zakresie badań, rozwoju i transferu innowacji.

Ostatnim elementem Innowacyjnego Programu Drzewnego jest finansowanie działań wykorzystania drewna, zwłaszcza tych, w wyniku których możliwe jest zastąpienie skończonych, energochłonnych zasobów oraz wpływ na ochronę klimatu i gospodarkę nastawioną na zasady zrównoważonego rozwoju. Innowacyjne budynki demonstracyjne z drewna powinny przyczynić się do zwiększenia udziału zasobów odnawialnych w budownictwie i zmniejszenia emisji CO₂.

7.3.2 Modernizacja budynków niemieszkalnych i konstrukcji drewnianych w Hamburgu

Program modernizacji budynków niemieszkalnych i konstrukcji drewnianych w Hamburgu⁸² ma na celu wsparcie termomodernizacji budynków niemieszkalnych, a także wykorzystanie drewna ze leśnictwa w budownictwie niemieszkalniowym. Działanie ma na celu zmniejszenie zużycia energii i emisji CO₂ w Hamburgu. Za dofinansowanie odpowiada Bank inwestycji i promocji w Hamburgu

⁸¹ <https://efre-bw.de/foerderaufwurf/aufruf-zum-foerderprogramm-holz-innovativ/>, dostęp 23.09.2019

⁸² <https://www.ifbb.de/programme/immobilienwirtschaft/nichtwohngedaende-bauen-und-modernisieren/nichtwohngedaende-bauen/modernisierung-von-nichtwohngedaenden-und-holzbau>, dostęp 23.09.2019

(IFB Hamburg). Beneficjentami programu są właściciele gruntów i inne osoby uprawnione rzeczowo (np. właściciele dzierżawy budynków niemieszkalnych). W ramach programu dofinansowane jest:

- doradztwo energetyczne i przygotowanie bilansu energetycznego,
- modernizacja przegród zewnętrznych budynków niemieszkalnych,
- nadzór budowlany przez niezależnego eksperta w zakresie wspieranych środków,
- zastosowanie zrównoważonych materiałów izolacyjnych w modernizacji energetycznej,
- wykorzystanie drewna ze zrównoważonej gospodarki leśnej do budowy nowych budynków.

7.3.3 Program KfW „Energooszczędna konstrukcja”

Program KfW „Energooszczędna konstrukcja”⁸³ ma na celu wsparcie budowy lub nabycia domów energooszczędnych. W przypadku nowej konstrukcji, spełniającej wymagania budynku energooszczędnego, finansowana jest budowa (z wyłączeniem kosztów gruntów), jak również koszty doradztwa, planowania i nadzoru budowlanego. W momencie zakupu finansowany jest zakup budynku mieszkalnego (z wyłączeniem kosztów gruntów).

Dofinansowanie udzielane jest przedsiębiorstwom komercyjnym, dostawcom usług energetycznych dla komercyjnych budynków niemieszkalnych oraz klientom indywidualnym.

Projekt jest finansowany z programu renowacji budynków pod kątem emisji CO₂ oraz programu motywacyjnego efektywności energetycznej (APEE) Federalnego Ministerstwa Gospodarki i Energii (BMWi).

7.3.4 Stowarzyszenie Holzbau Deutschland

Holzbau Deutschland-Bund Deutscher Zimmermeister⁸⁴ jest stowarzyszeniem organizacji niemieckiego przemysłu stolarskiego i drzewnego. Reprezentuje interesy firm stolarskich i budowlanych, realizujących głównie projekty budynków drewnianych w Niemczech, a także w Europie jako członek Timber Construction Europe. Głównym zadaniem Holzbau Deutschland jest zabezpieczenie przyszłości stolarki i konstrukcji drewnianych poprzez wsparcie rozwoju ustalonych i nowych dziedzin działalności konstrukcji drewnianych.

Holzbau Deutschland ma cztery główne cele:

- wzmocnienie obecności na rynku przemysłu stolarskiego i drzewnego,
- wzrost jakości i wydajności w przedsiębiorstwach poprzez stały rozwój techniczny i ekonomiczny,
- wzmocnienie pozycji rynkowej i zdolności do działania firm,
- zaprojektowanie i wdrożenie pionierskiej edukacji i szkolenia w zakresie stolarstwa.

Do zadań Holzbau Deutschland należą między innymi:

- profesjonalne wsparcie firm za pośrednictwem stowarzyszonych regionalnych stowarzyszeń,
- udział w normalizacji na poziomie krajowym i europejskim,
- wsparcie badań, rozwoju i nauczania,

⁸³ [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Bauen-\(153\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Bauen-(153)/), dostęp 23.09.2019

⁸⁴ <https://www.holzbau-deutschland.de/>, dostęp 23.09.2019

- udział w szkoleniu zawodowym i badaniu technicznym,
- realizacja wydarzeń związanych z dalszą edukacją,
- realizacja specjalistycznych wystaw i konkursów technicznych.

Ponadto realizowane są takie zadania, jak nadzór komitetów wewnętrznych i zewnętrznych, a także przede wszystkim rzeczniczo techniczne w zakresie konstrukcji drewnianych. Działania Holzbau Deutschland obejmują wszechstronne kontakty z instytucjami, stowarzyszeniami, partnerami serwisowymi branży materiałów budowlanych i zaopatrzenia budownictwa, przemysłu maszynowego i narzędziowego, a także z instytucjami edukacyjnymi, takimi jak szkoły zawodowe, mistrzowskie rzemiosła i uniwersytety. Podczas seminariów i wydarzeń przekazywane są najnowsze technologie i wyniki projektów, które przyczyniają się do dalszego rozwoju przedsiębiorstw budownictwa drewnianego.

Wsparcie promocji i rozwoju technologii drewnianych zostało rozwinięte dzięki powołaniu Holzbau Deutschland-Institut⁸⁵. Instytut prowadzi działalność w dziedzinie badań i innowacji w zakresie:

- podejmowania i wdrażania wewnętrznych badań dotyczących konstrukcji drewnianych,
- wspierania przedsiębiorstw w obszarze badań i rozwoju oraz, jeśli to możliwe, zaangażowania w trwające projekty badawcze,
- współpracy z instytucjami naukowymi w projektach wymagających odzwierciedlenia aktualnej praktyki budowlanej i aktualnego stanu wiedzy,
- dostarczania nowej wiedzy przedsiębiorstwom budowlanym w kontekście transferu innowacji za pośrednictwem znanych wiodących mediów,
- opiniowania i opracowywania dokumentów projektowych, map drogowych i konsultacji mających znaczenie techniczne i badawcze.

Celem Holzbau Deutschland-Institut jest zaspokojenie istniejących potrzeb w zakresie rozwiązań technicznych oraz dalsze poszerzanie istniejących atutów wykorzystania drewna w branży budowlanej. Badania i innowacje jako obszary działania na rzecz rozwoju wiedzy są kluczowymi siłami napędowymi. W połączeniu z ciągłymi pracami standaryzacyjnymi i dostosowaniem przepisów technicznych dla przedsiębiorstw budowlanych, stanowią one podstawę udanego rozwoju nowych obszarów wykorzystania budownictwa drewnianego.

7.3.5 Nagroda Deutscher Holzbaupreis

W celu promocji i prezentacji nowych technologii i przykładów architektury drewnianej Holzbau Deutschland co dwa lata od 2003 r. wręcza Deutscher Holzbaupreis⁸⁶. Do udziału w konkursie zapraszani są architekci, inżynierowie budowlani i przedsiębiorstwa z branży drzewnej.

Deutscher Holzbaupreis jest obecnie uważany za najważniejszą nagrodę dla budynków wykonanych z drewna w Niemczech. Przyznawany jest w trzech kategoriach: „nowa konstrukcja”, „konstrukcja w istniejących budynkach” oraz „innowacyjne komponenty lub koncepcje planowania i budowy w kontekście konstrukcji z drewna”. Ceremonia wręczenia nagród odbywa się tradycyjnie na targach branży leśnej i drzewnej LIGNA w Hannoverze.

⁸⁵ https://www.institut-holzbaudeutschland.de/das_institut/, dostęp 23.09.2019

⁸⁶ https://www.holzbaudeutschland.de/aktuelles/veranstaltungen/deutscher_holzbaupreis/, dostęp 23.09.2019

7.3.6 Kursy i szkolenia

Na wielu niemieckich uniwersytetach oferowane są dyplomy i kursy specjalizacyjne w zakresie konstrukcji drewnianych lub inżynierii drzewnej w dziedzinie inżynierii lądowej. Lista niemieckich uczelni wyższych oferujących dyplomy i kursy specjalizacyjne w tej dziedzinie zawiera ponad 20 pozycji, między innymi: FH Aachen (kursy studiów: Inżynieria Drewna, Wydział Inżynierii Lądowej), University of Applied Sciences Rosenheim (kursy studiów: Technologia Drewna, Konstrukcja i Rozwój Drewna) University of Applied Sciences and Arts w Hildesheim, (program studiów w zakresie inżynierii drewna konstrukcyjnego).

7.3.7 Północno-niemieckie dni promocji budownictwa drewnianego

W 2019 r. w Wismar odbyło się wydarzenie Norddeutsche Holzbautage „Holzbau im Detail”⁸⁷, tj. dni budownictwa drewnianego. Wydarzenie promowało budownictwo drewniane poprzez m.in.:

- warsztaty w celu nauczania podstaw cyfrowej obróbki materiałów,
- wycieczkę do nowo wybudowanego przedszkola „Stadtspatzen” (jako przykład regionalnego budynku z drewna w Wismar),
- wykłady, na których eksperci omówili możliwości stawiania budynków z drewnem, szczególnie w aspekcie ekologii budynków, ochrony klimatu i efektywności energetycznej budynków.

Wydarzenie skierowane było w szczególności do architektów, planistów, inżynierów i przedsiębiorstw zajmujących się zarządzaniem budowlami publicznymi i przedsiębiorstwami przemysłu drzewnego, a także studentów architektury i inżynierii lądowej.

7.3.8 Zmiany legislacyjne

W niemieckim prawie budowlanym wyróżniane są dwa rodzaj prawa. W dosłownym tłumaczeniu jest to publiczne oraz prywatne prawo budowlane. Publiczne prawo budowlane to dział prawa administracyjnego, regulujący wszelkie kwestie związane ze wszystkimi etapami budowy obiektów takich jak budynki i budowle, obejmujący swym zakresem między innymi projektowanie, planowanie, budowę, nadzór, utrzymanie, rozbiórkę obiektów, oddawanie obiektów do użytku oraz kwestie katastrofy budowlanej. W ramach publicznego prawa budowlanego obserwowane są różnice między planowaniem przestrzennym, lokalnym zagospodarowaniem przestrzennym i prawem budowlanym. Prywatne prawo budowlane zajmuje się natomiast prawem umów o dzieło niemieckiego kodeksu cywilnego w kontekście realizacji prac budowlanych oraz regulacjami VOB⁸⁸, a także określa sytuację

⁸⁷ <https://www.hs-wismar.de/bochschule/information/veranstaltungen/konferenzen-fachveranstaltungen/norddeutsche-holzbautage/>, dostęp 23.09.2019

⁸⁸ Zarządzenie nt. zamówień i umów w zakresie usług budowlanych obowiązujące w RFN. Ze względu na przedmiot regulacji, przepisy VOB dzielą się na trzy części, oznaczone literowo ABC. VOB A – Ogólne warunki zamówień za usługi budowlane. Część ta reguluje głównie udzielanie zamówień na usługi budowlane w ramach zamówień publicznych. Dokonuje rozróżnień procedur udzielania zamówień w zależności od wartości zamówienia (krajowe lub europejskie), szczegółowo opisując warunki procedur poszczególnych, dopuszczonych VOB, procedur przetargowych w obu wspomnianych grupach zamówień. VOB B – Ogólne warunki umów na realizację usług budowlanych. Przepisy określające warunki jakie spełniać musi umowa, zawarte są w prawie niemieckim zasadniczo w kodeksie cywilnym (BGB- Bürgerliches Gesetzbuch). VOB C – Ogólne warunki techniczne umów na realizację usług budowlanych. Część ta jest zbiorem warunków technicznych i norm w tym zakresie (obowiązuje normalizacja DIN dostosowania do rodzaju usług budowlanych – np.: DIN 18331 dla usług betoniarskich, DIN 18300 dla prac zimowych, etc.). W praktyce przepisy VOB C są bardzo istotne dla interpretacji zapisów VOB B, a w przypadku sporów

prawną w zakresie przepisów prawa sąsiedzkiego poszczególnych krajów związkowych.⁸⁹ Wymagania techniczne dot. budynków są określane przez odniesienia do norm VOB/C i/lub DIN.⁹⁰

Z wspólnej inicjatywy Niemieckiej Rady Leśnictwa (DFWR) i Niemieckiej Rady Przemysłu Drzewnego (DHWR) opracowano Umowę ramową w sprawie handlu drewnem w Niemczech „RVR”⁹¹, czyli ogólnokrajowy plan następcy Forst-HKS, w którym ułatwiono i usprawniono przepisy dotyczące przeglądu i sortowania surowego drewna, środków rozliczeniowych i współczynników konwersji, a także terminologii w handlu drewnem surowym.

Budowa wielokondygnacyjnych budynków z drewna według prawa budowlanego obowiązującego w Niemczech jest możliwa, ale wymaga skomplikowanych działań, które muszą być skoordynowane z niższymi organami nadzoru budowlanego i strażą pożarną. To poważnie utrudnia wykorzystanie drewna w budynkach wielokondygnacyjnych. Rozwiązaniem tego problemu było lokalne podejście do wprowadzania zmian legislacyjnych prawa budowlanego.

Krajowy parlament zatwierdził propozycje kompleksowej zmiany kodeksu budowlanego w Hamburgu⁹². Hamburg jest jednym z pierwszych miejsc, które stworzyły nowe możliwości dla konstrukcji drewnianych w projektach budowlanych o wysokości do 22 metrów (ok. 6 do 7 kondygnacji). Przed wprowadzeniem tych zmian, prawo budowlane umożliwiało realizację projektów w konstrukcji drewnianej do 3 kondygnacji.⁹³

W połowie lipca parlament kraju związkowego Nadrenia Północna-Westfalia uchwalił ustawę dotyczącą modernizacji przepisów budowlanych na swoim terenie⁹⁴. Zostały naniesione znaczne korekty w celu ułatwienia wykorzystania technologii drewnianych w budownictwie.

Dzięki wdrożeniu klas budynków oraz wymagań dotyczących zachowania się materiałów ogniotrwałych i elementów w zakresie odporności ogniowej, wprowadzono możliwość budowania obiektów mieszkalnych o więcej niż 3 kondygnacjach w konstrukcji drewnianej i wysokości budynku do 22 metrów, tj. do tak zwanej „granicy wieżowca”.

W 2018 r. podjęto również decyzję o zmianie kodeksu budowlanego w Berlinie⁹⁵. W wyniku wprowadzanych zmian uproszczono realizację budynków wykonanych z drewna, w szczególności dla wielopiętrowych konstrukcji drewnianych. Zmiany legislacyjne kodeksu budowlanego w Berlinie dotyczące ułatwienia stosowania rozwiązań technologii drewnianych pomogą gospodarować przestrzeń mieszkalną miasta, która charakteryzuje się zabudową zwartą.

investora z wykonawcą mają one pierwszeństwo. Źródło: <https://www.muratorplus.pl/biznes/prawo/niemcy-aa-feTJ-7vkj-4sdW.html>, dostęp 27.09.2019

⁸⁹ <http://prawobudowlane-niemcy.pl/publiczne-a-prywatne-prawo-budowlane-w-niemczech/>, dostęp 27.09.2019

⁹⁰ <http://prawobudowlane-niemcy.pl/roboty-budowlane-zestawienie-najwazniejszych-regulacji-prawnych/>, dostęp 27.09.2019

⁹¹ <https://relaunch.saageindustrie.de/rvr/>, dostęp 23.09.2019

⁹² <https://www.bolz-junge.de/aktuelles/bolz-junge-informiert/news/news-detail/news/bauen-mit-bolz.html>, dostęp 23.09.2019

⁹³ Hamburgski kodeks budowlany jest dostępny adresem <http://www.landesrecht-hamburg.de/jportal/portal/page/bsbaprod.psm?st=lr>, dostęp: 23.09.2019

⁹⁴

⁹⁵ [https://www.bolz-bau-](https://www.bolz-bau-deutschland.de/aktuelles/presseinformation/ansicht/detail/aenderungen_der_berliner_bauordnung_erleichtert_den_mehrgeschos)

[deutschland.de/aktuelles/presseinformation/ansicht/detail/aenderungen_der_berliner_bauordnung_erleichtert_den_mehrgeschos-sigen_bolz-bau/](https://www.bolz-bau-deutschland.de/aktuelles/presseinformation/ansicht/detail/aenderungen_der_berliner_bauordnung_erleichtert_den_mehrgeschos-sigen-bolz-bau/), dostęp 23.09.2019

8 Rekomendacje dla polskiej administracji

8.1 Rekomendacje dotyczące zmian prawnych

Dotychczasowe regulacje prawne w zakresie budownictwa w Polsce nie blokują rozwoju budownictwa drewnianego. Dlatego nie ma konieczności zmian prawnych w tym zakresie. Natomiast istnieje wiele mitów i nieudowodnionych, nawet wśród decydentów w instytucjach państwowych lub samorządowych odnośnie technologii budownictwa drewnianego. Dlatego koniecznym wydaje się przeprowadzenie działań promujących budownictwo drewniane.

Ponadto sugeruje się wprowadzenie w Prawie Zamówień Publicznych zapisu wymagającego przeprowadzenia analizy śladu węglowego dla nowo projektowanych budynków użyteczności publicznej i wyboru wariantów konstrukcyjno-materiałowych o najniższym śladzie węglowym. Można również zawrzeć zapis o konieczności rozpatrzenia wariantu materiałowego budynku w technologii budownictwa drewnianego.

Takie zmiany powinny się przyczynić do wzrostu liczby budynków publicznych w technologii drewnianej. Ze względu na to, że budynki publiczne wyznaczają trendy dla całego budownictwa, to proponowany zapis wpłynąłby także na wzrost inwestycji w technologiach drewnianych w sektorze mieszkaniowym.

8.2 Propozycje mechanizmów finansowych

Rozwój budownictwa drewnianego powinien być stymulowany dodatkowo za pomocą mechanizmów finansowych kierowanych do różnych grup społecznych. Aktualnie nie ma dostępnych programów wspierających budownictwo drewniane. Od niedawna na rynku funkcjonuje nowoutworzona Spółka Polskie Domy Drewniane. Spółka będzie oferować budynki mieszkalne, usługowe i mieszkalno-usługowe wykonane w technologiach preferujących konstrukcje drewniane z wykorzystaniem krajowego potencjału przemysłu drzewnego i budowlanego oraz bazy surowcowej. Budowane obiekty będą spełniać wysokie standardy związane z poszanowaniem ochrony środowiska naturalnego, w tym:

- wysoki stopień wykorzystania surowców naturalnych,
- bardzo niskie zapotrzebowanie na energię pierwotną niezbędną do utrzymania budynku,
- komplementarne wykorzystanie odnawialnych źródeł energii,
- optymalizację i standaryzację procesów związanych z budową i utrzymaniem nowopowstających budynków.

Działalność Spółki Polskie Domy Drewniane jest zasadna pod względem zwiększania udziału budownictwa drewnianego wśród nowopowstających budynków, szczególnie w przypadku, kiedy budowane lokale kierowane będą m.in. do średniozamożnych rodzin.

Ponadto, po przeanalizowaniu różnych polskich i zagranicznych systemów wsparcia budownictwa proponuje się w celu wsparcia budowy drewnianych domów jednorodzinnych uruchomienie przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, programu priorytetowego: „Poprawa jakości powietrza Część 7). Dofinansowanie energooszczędnych domów drewnianych”.

Program został przygotowany przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w 2017 roku, ale dotychczas nie został uruchomiony.

Według projektu „Program skierowany jest na dofinansowanie budowy lub zakupu domu drewnianego jednorodzinny, w standardzie zdefiniowanym w „Krajowym Planie mającym na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii”, który został przyjęty Uchwała nr 91 Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 r. (Monitor Polski z 16 lipca 2015 r., poz. 614), tzn., budynków spełniających wymogi związane z oszczędnością energii i izolacyjnością cieplną zawarte w przepisach techniczno-budowlanych, o których mowa w art. 7 ust. 1 pkt. 1 ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz. U. z 2013 r. poz. 1409, z późn. zm.), tj. w szczególności wymogi określone w dziale X oraz załączniku nr 2 do rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz. 690, z późn. zm.), obowiązujące od 1 stycznia 2021 r., a dla budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością – od 1 stycznia 2019 r.”

Dotacja przyznawana byłaby dla beneficjentów realizujących budowę lub zakup budynków wykonanych w standardzie budynku o niskim zużyciu energii, o którym jest mowa w art. 39 ustawy z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków, która wdraża do krajowego porządku prawnego część postanowień dyrektywy 2010/31/UE i wynosiłaby 230 zł brutto / 1m² powierzchni użytkowej o regulowanej temperaturze, z zastrzeżeniem, że dotacje mogą otrzymać jedynie beneficjenci realizujący przedsięwzięcia budowy lub zakupu domów jednorodzinnych drewnianych o powierzchni użytkowej o regulowanej temperaturze nie większej niż 150 m². W przypadku budowy lub zakupu domu o powierzchni użytkowej o regulowanej temperaturze większej niż 150 m², dotacja zostanie przyznana tylko kwoty obliczonej jako iloczyn 230 zł/m² x 150 zł = 34 500 zł. Propozycja mechanizmu zostanie szerzej opisana jak będzie skończona analiza LCA.

Szerszy opis programu można znaleźć na stronie:

<http://nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/aktualnosci/art,2,konsultacje-projektu-pp-poprawa-jakosci-powietrza-czesc-7-dofinansowanie-energooszczednych-domow-drewnianych.html>

Natomiast dla wszystkich nowych budynków użyteczności publicznej wznoszonych w jakiegokolwiek technologii budownictwa drewnianego Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, powinien przygotować inny program o następujących założeniach:

Inwestycja: Budynek użyteczności publicznej (szkoła, biuro, apteka itp.) zaprojektowany w dowolnej technologii budownictwa drewnianego (z bali, szkieletowa, z drewna klejonego warstwowo lub krzyżowo)

Inwestor: Dowolna osoba prawna.

Sposób dofinansowania inwestycji: Kredyt preferencyjny obejmujący do 100% kosztów kwalifikowanych inwestycji. RRSO dla kredytu preferencyjnego powinno wynosić: 0%.

Dodatkowe wymagania: koszt m² powierzchni użytkowej budynku nie powinien przekraczać średniego kosztu budowy tego typu obiektów w województwie.

8.3 Propozycje kampanii informacyjnych i edukacyjnych

Wszelkie działania i przedsięwzięcia inwestycyjne, powinny być wspierane poprzez realizację działań tzw. miękkich, czyli działań, których efektem poszerzenie wiedzy, zwiększenie umiejętności czy wzmocnienie wizerunku. Działania miękkie mają zatem edukować, informować i promować pozytywne zachowania. Wśród działań miękkich możemy wyróżnić: szkolenia, warsztaty,

konferencje, imprezy kulturalne jak np. pikniki, festyny, dni tematyczne, spacery architektoniczne i badawcze, ale również gry miejskie, konkursy i oczywiście konsultacje społeczne. Wybór formy i metody realizacji działań miękkich zależy od grupy docelowej. W przypadku budownictwa drewnianego zdecydowanie konieczny jest podział działań informacyjno-edukacyjnych na dwie grupy: działania kierowane do specjalistów z branży budowlanej oraz działania „ocieplające” wizerunek budownictwa drewnianego u ogółu społeczeństwa.

Promowanie wykorzystania drewna w branży budowlanej powinno przede wszystkim, dotyczyć aspektów legislacyjnych, co ułatwi wykorzystanie drewna w różnych obiektach jak np. budynki mieszkalne i użyteczności publicznej, mosty, wieżowce i inne tym podobne. Promocję budownictwa drewnianego można usprawnić poprzez tworzenie swojego rodzaju „sieci” lub klastrów oraz współpracę jednostek branżowych, naukowych, badawczych czy organów pozarządowych. Każdy z planowanych programów lub działań powinien aktywnie promować zalety drewna zarówno w zakresie dla profesjonalistów, jaki i ogółu społeczeństwa. Tego typu rozwiązanie może ponadto wspierać współpracę między podmiotami zaangażowanymi w promocję budownictwa drewnianego jest jedną z podstawowych barier dla rozwoju ekologicznego budownictwa.

Ciekawą i wartą uwagi inicjatywą jest utworzenie Pomorskiego Klastra Drzewnego „Czarna Woda”, którego celem będzie między innymi stworzenie optymalnych warunków w dostępie do wyspecjalizowanych i unikalnych zasobów oraz usług w zakresie technologii drewna, prowadzenie akcji promocyjnych wśród społeczeństwa (w kraju i zagranicą), wykorzystanie potencjału badawczo-rozwojowego dla wytworzenia nowych produktów i świadczenia nowych usług oraz kształcenie wykwalifikowanej kadry. Wśród członków klastra oprócz jednostek samorządowych obecne są przedsiębiorstwa działające w branży drzewnej, Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Gdańsku, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Płyt Drewnopochodnych z Czarnej Wody oraz uczelnie wyższe. W ramach działania klastra, studenci wydziału architektury i budownictwa lądowego Politechniki Gdańskiej mogą korzystać w zakresie swojej misji badawczej i edukacyjnej z doświadczeń i zasobów przedsiębiorstw będących członkami klastra.

Inną inicjatywą jest *Dobry Montaż*, który angażuje uznane firmy z branży stolarki budowlanej. Najnowsza edycja programu obejmuje szereg działań, w tym kampanię Public Relations, szereg artykułów poradnikowo-inspiracyjnych, promujących sztukę dobrego montażu, skierowane zarówno do inwestorów indywidualnych oraz monterów stolarki budowlanej. Jednocześnie inicjatywa obecna jest w social mediach, gdzie dostępne są dla wszystkich zainteresowanych aktualności i ciekawostki branżowych. Ponadto kampania skierowana jest do fachowców, poprzez ich rekomendowanie przez Partnerów akcji. Organizowane są również profesjonalne szkolenia dla działów handlowych i punktów dystrybucji partnerów kampanii, dzięki czemu zdobytą wiedzę pracownicy mogą wykorzystać w praktyce podczas doradztwa konsumentom. Warto poszerzyć obecne działania w ramach inicjatywy *Dobry montaż* o zagadnienia związane z budownictwem drewnianym, dedykowane szkolenia, kampanie edukacyjno-informacyjne w zakresie promocji budownictwa drewnianego czy wyszukiwarke sprawdzonych i wiarygodnych firm działających w tym zakresie.⁹⁶

Akademia Górniczo-Hutnicza wyszła naprzeciw potrzebom dotyczącym kształcenia fachowców w branży budownictwa drewnianego i otworzyła kierunek studiów *Współczesne budownictwo drewniane*. Studia są uzupełnieniem dla absolwentów kierunków takich jak inżynieria produkcji, budownictwa i architektury oraz technologów drewna, menadżerów, kierowników, projektantów, inspektorów nadzoru. Przewagą tego rodzaju studiów nad innymi są liczne zajęcia praktyczne, które będą istotnym

⁹⁶ <https://dobrymontaz.com>, dostęp 26.09.2019

elementem programu nauczania. Celem tego działania jest zapewnienie na rynku specjalistów w zakresie technologii budowy budynków o szkielecie drewnianym. Warto więc promować ten kierunek studiów podczas wydarzeń typu *Dni kariery*, dzięki czemu więcej młodych ludzi może być zainteresowanych możliwością zdobycia praktycznych umiejętności.⁹⁷

Poza przykładami opisanymi w rozdziale 7, można wymieniać także przykłady z innych części świata. Jednym z nich jest kampania *Wood. Naturally Better*,⁹⁸ która została zainicjowana przez Forest & Wood Products Australia (FWPA)⁹⁹ i której celem jest propagowanie zalet drewna oraz dotarcie do jak największej liczby ludzi¹⁰⁰. Inne inicjatywy, które są realizowane przez FWPA to między innymi strona internetowa ForestLearning (zawiera przegląd działań FWPA w ramach zdefiniowanych przez nich strategii) i WoodSolutions¹⁰¹ (zawiera techniczne przewodniki projektowe dotyczące budownictwa drewnianego itp.).

Wśród innych inspirujących kampanii promujących budownictwo drewniane jest Hello Wood Summer Festival. Obóz jest wyjątkową okazją dla projektantów i studentów, aby wypracować praktyczne podejście do projektowania i budowania z drewna. Festiwal jest niezależną i międzynarodową platformą edukacyjną dzielącą się pomysłami i pozwalającą na eksperymentowanie z budową. Warsztaty są przeciwieństwem nauki na studiach, ponieważ uzupełniają wiedzę teoretyczną o praktyczne metody projektowania. Liczne firmy z branży budownictwa drewnianego dostarczają uczestnikom innowacyjne i prefabrykowane materiały w celu ich przetestowania przed wprowadzeniem na rynek. Festiwal ten znajduje się wśród najbardziej innowacyjnych programów edukacji architektonicznej i przyczynia się do propagowania zrównoważonego podejścia do projektowania¹⁰².

Inną grupą działań są promocje istniejących lub realizowanych rozwiązań. Promocja tego typu przedsięwzięć może być realizowana poprzez przyznawanie nagród za najciekawsze, innowacyjne i ekologiczne rozwiązania technologiczne przy zastosowaniu budownictwa drewnianego, jak np. Nagroda Treprisen (Rozdział 7.2.4) lub Nagroda Deutscher Holzbaupreis (7.3.5). Innym sposobem jest zaprezentowanie w jednym miejscu obiektów, wykonanych w konstrukcji drewnianej. Tego typu działanie jest realizowane w ramach kampanii branży drzewnej promująca wykorzystanie drewna w projektowaniu i budownictwie Wood for Good¹⁰³. W ramach kampanii prowadzona jest także strona internetowa (<https://woodforgood.com/>), która nie tylko przedstawia zalety drewna, ale również pokazuje dobre przykłady realizowanych i zrealizowanych obiektów w konstrukcji drewnianej w różnych częściach świata, bazę cyklu życia różnych elementów wykorzystywanych w budownictwie drewnianym oraz informacje (kalendarz) o szkoleniach i konferencjach w tym obszarze.

Niezależnie od tematów na jakich skupiają się szkolenia czy programy edukacyjne, powinny być one modułowe i umożliwiać kształcenie także na odległość. Warto zatem rozważyć wspieranie sieci

⁹⁷ <https://www.muratorplus.pl/biznes/wiesci-z-rynku/fachowcy-od-budownictwa-drewnianego-z-tytulem-inzyniera-budownictwa-aa-xnuS-NPGD-mUSb.html>, dostęp 26.09.2019

⁹⁸ <https://www.naturallybetter.com.au/>, dostęp 26.09.2019 r.

⁹⁹ <https://www.fwpa.com.au/>

¹⁰⁰ *Global Perspectives on Achieving Success in High and Low Cost Operating Environments*, Ross G., Kennedy N., *the United States of America* 2014 s.199-201

¹⁰¹ <https://www.woodsolutions.com.au/blogs>

¹⁰² <https://www.woodsolutions.com.au/blog/hello-wood-hungarian-summer-festival>, dostęp 26.09.2019

¹⁰³ <https://woodforgood.com/>, dostęp 26.09.2019

szkoleniowej w branży budownictwa bądź innej pokrewnej, w skład której będą wchodziły jednostki naukowe, branżowe i rządowe a jej celem będzie tworzenie programów szkoleniowych bazując na systematycznym rozeznaniu rynku i odpowiadając na aktualne zapotrzebowanie. W tym przypadku inicjatorem mogłoby być państwo we współpracy z uniwersytetami, organizacjami badawczymi czy firmami. Dystrybucja materiałów tego typu mogłaby się odbywać przez organizacje branżowe.¹⁰⁴

¹⁰⁴ *Global Perspectives on Achieving Success in High and Low-Cost Operating Environments*, Ross G., Kennedy N., *the United States of America* 2014 s.199-201
https://books.google.pl/books?id=zAeXBQAAQBAJ&pg=PA200&lpq=PA200&dq=examples+of+government+educational+campaigns+in+the+field+of+wooden+construction&source=bl&ots=30Y1gs8QyD&sig=ACjU3U0YBx2aGKkDdB-b8nJBTc-r3WIPNw&hl=pl&sa=X&ved=2abUKEnjx&op=AbWEposKHTmFC_UQ6AEmE3oECAkQAQ#v=onepage&q=examples%20of%20government%20educational%20campaigns%20in%20the%20field%20of%20wooden%20construction&f=false, dostęp 26.09.2019

9 Podsumowanie i wnioski

Na przestrzeni ostatnich lat domy z drewna stanowią coraz częstszy wybór inwestorów. Najczęściej wybierane są drewniane domy szkieletowe. Do mniej popularnych technologii zalicza się domy z bali i drewna klejonego. Pomimo tego, że technologia budowania z drewna powoli zyskuje w Polsce zwolenników, wciąż kojarzy się bardziej z budynkami jednorodziennymi (głównie starą architekturą wiejską) lub zabudową letniskową. Ponadto domy drewniane są zamieszkiwane przez niewielki udział społeczeństwa, a dodatkowo domy te często wymagają generalnego remontu.

Jak rozwój budownictwa drewnianego może przyczynić się do ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko sektora budownictwa?

Sektor budowlany odpowiada za 35% całkowitej emisji gazów cieplarnianych oraz 40% zużycia energii. Drzewo w procesie swojego wzrostu pochłania CO₂, które może być magazynowane w konstrukcji drewnianej przez dziesiątki a nawet setki lat. Parametry wytrzymałościowe i właściwości izolacyjne drewna pozwalają na budowę znacznie lżejszych i bardziej energooszczędnych konstrukcji niż odpowiadające im obiekty z betonu lub elementów murowych. Drewno po rozbiórce można w łatwy sposób ponownie wykorzystać. Biorąc pod uwagę ww. przedstawione fakty widzimy jak szczególnie ważne z punktu widzenia ochrony środowiska jest zapewnienie ciągłego rozwoju budownictwa drewnianego.

Budynki wykonane z drewna charakteryzują się dobrymi parametrami cieplnymi. Dzięki ograniczeniu występowania mostków termicznych, dobrej szczelności i własnościach wentylacyjnych drewna są również bardziej energooszczędne przy jednocześnie niższych kosztach inwestycyjnych. Dodatkowo, istotnym aspektem, który jest często pomijany, jest odporność ogniowa zarówno wielkowymiarowych konstrukcji drewnianych jak i domów z bali.

Dla zobrazowania jak duże mogą być korzyści środowiskowych, w ramach opracowania przeprowadzono analizę LCA, otrzymując wyniki¹⁰⁵:

- ślad węglowy w perspektywie pięćdziesięciu lat życia budynków wybudowanych w 2025 roku zmniejszy się o 246 tysięcy MgCO₂ – liczba ta odpowiada emisji dwutlenku węgla, który zostanie wyemitowany przez 1 samochód podczas przejechania ponad 2 mln km, lub przejechaniu trasy z Gdańska do Wenecji (tam i z powrotem) przez 600 samochodów,
- skumulowane zużycie energii pierwotnej w perspektywie pięćdziesięciu lat życia budynków wybudowanych w 2025 roku zmniejszy się o 528 tysięcy GJ – liczba ta odpowiada energii potrzebnej w ciągu roku dla ponad 154 tysięcy osób, czyli np. wszystkich mieszkańców Jeleniej Góry i Mysłowic (sektor mieszkaniowy; dot. zużycia energii elektrycznej i ciepła),

¹⁰⁵ przy założeniu, że w 2025 r. rocznie budowanych będzie 200 tys. mieszkań o średniej powierzchni użytkowej 75 m² oraz że 5% z tych mieszkań będzie wykonanych w technologii drewnianej

- nie powstanie 20 tysięcy Mg odpadów budowlanych – liczba ta odpowiada odpadom komunalnym produkowanym przez rok przez ponad 6400 osób lub pojemności 100 towarowych wagonów kolejowych.

W jaki sposób, na podstawie dostępnych danych, kwantyfikować środowiskowe korzyści budownictwa drewnianego?

W ramach opracowania przeprowadzono analizę cyklu życia budynku mieszkalnego jednorodzinного (LCA) czterech wariantów budowy domów drewnianych:

- standard WT2021 dla domu szkieletowego wykonywanego na budowie,
- standard pasywny dla domu szkieletowego wykonywanego na budowie,
- standard WT2021 dla domu wykonywanego w technologii drewnianej prefabrykowanej,
- standard pasywny dla domu wykonywanego w technologii drewnianej prefabrykowanej.

Na podstawie wyników tej analizy można stwierdzić, że najmniejszy ślad ekologiczny ma budynek w technologii drewnianej w standardzie pasywnym. Znacznie większy efekt ekologiczny osiągają budynki, w których uwzględniona została sekwestracja dwutlenku węgla w wyrobach drewnianych i drewnopochodnych. Największa emisja związana jest z eksploatacją budynków, dlatego wraz z wdrażaniem technologii drewnianej ważny jest również wysoki standard energetyczny budynków.

W ramach opracowania przeprowadzono także ocenę kosztów w cyklu życia budynku (LCC), wykonanego w różnych wariantach (Murowany WT2021, murowany pasywny, drewniany WT2021, drewniany pasywny i drewniany prefabrykowany), w wyniku której zaobserwowano:

- wariant murowany pasywny jest mniej korzystny od wariantu murowanego pod względem efektywności kosztowej kryterium decyzyjnego metody LCC w stosunku do wariantu energetycznego WT2021 – niższy koszt użytkowania budynku pasywnego w cyklu życia jest niewystarczający do skompensowania wyższych początkowych nakładów inwestycyjnych,
- budynek wykonany w konstrukcji drewnianej WT2021 charakteryzuje się niższym o 21 699 zł netto w stosunku do wariantu murowanego WT2021 oraz o 29 863 zł netto w stosunku do wariantu murowanego pasywnego kosztem w pięćdziesięcioletnim cyklu życia – kryterium decyzyjne LCC wskazuje wariant budynku drewnianego jako bardziej korzystny pod względem efektywności kosztowej,

Wariant pasywny jest mniej korzystny pod względem efektywności kosztowej kryterium decyzyjnego metody LCC w stosunku do wariantu energetycznego WT2021 – niższy koszt użytkowania budynku pasywnego w cyklu życia jest niewystarczający do skompensowania wyższych początkowych nakładów inwestycyjnych.

W jakim stopniu obszar budownictwa drewnianego jest zintegrowany z ochroną klimatu?

Szersze wykorzystanie drewna w budownictwie w znacznym stopniu przyczynia się do przeciwdziałania zmianom klimatycznym poprzez: ograniczenie emisji CO₂, który powstaje przy produkcji stali i cementu, wiązanie CO₂ na wiele lat w drewnie używanym do produkcji budynków oraz zmniejszenie ilości energii niezbędnej do utrzymania budynków w trakcie ich eksploatacji.

Drewno jako surowiec, idealnie wpisuje się w trend budownictwa przyjaznego środowisku. Z drewna można wytworzyć wyroby budowlane o różnym stopniu przetworzenia. Ponadto, technologie

drewniane w połączeniu z prefabrykacją idealnie wpisują się w wizję budownictwa zrównoważonego oraz niskoemisyjnego. Szczególnie widoczne jest wykorzystanie drewnianych materiałów budowlanych w architekturze energooszczędnej, harmonijnej, pasywnej itp.

Realizacja inwestycji budowlanych w technologii drewnianej będzie skutkować pozytywnym oddziaływaniem na środowisko poprzez:

- oszczędność surowców naturalnych,
- zmniejszenie energochłonności procesów technologicznych,
- zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów technologicznych oraz ich zagospodarowanie lub utylizację,
- zagospodarowanie niewykorzystanego surowca,
- odzyskiwanie i powtórne wykorzystanie materiałów budowlanych,
- zastępowanie materiałów i wyrobów budowlanych szkodliwych dla środowiska człowieka i środowiska przyrodniczego, materiałami "przyjaznymi" dla środowiska,
- utylizację materiałów nieodnawialnych w sposób zapewniający ochronę środowiska przyrodniczego.

Czy i w jaki sposób budownictwo drewniane wspierane jest w innych krajach?

Budownictwo drewniane, pomimo wielu zalet, nie cieszy się dużym powodzeniem w Polsce. W związku z tym, w opracowaniu przedstawiono szereg dobrych praktyk dotyczących mechanizmów wsparcia, wpływających na rozwój budownictwa drewnianego. Opisywane działania przyniosły pozytywne rezultaty w zakresie rozwoju rynku technologii drewnianych, w tym także rozwiązań innowacyjnych, a ponadto mogą być replikowane w części lub w całości w innych miastach i krajach. W związku z tym, że budownictwo drewniane najbardziej popularne jest w Kanadzie, Skandynawii oraz w Niemczech, w opracowaniu przedstawiono działania realizowane w tych krajach.

Pomimo tego, że w Kanadzie budownictwo drewniane jest bardzo popularne wciąż dąży się do rozwoju sektora budownictwa drewnianego, ale obecnie skupia się to głównie na zabudowie usługowej, w tym wysokościowej. Nacisk kładzie się na innowacyjność i popularyzację drewna w przestrzeniach, w których nie było ono do tej pory wykorzystywane.

Wśród programów wymienić można m.in.: Tall Wood Building Demonstration Initiative, Green Construction through Wood, które skupiają się na wsparciu finansowym budowy budynków w konstrukcji drewnianej, w głównej mierze o wielu kondygnacjach. Poza tym prowadzone są tam także programy: Canadian Wood Council, Ontario's Mass Timber skupiające się na doskonaleniu przepisów budowlanych, standardów i edukacji.

W Norwegii przemysł drzewny i budownictwo drewniane stały się ponownie ważnymi sektorami gospodarki, a drewno jako materiał budowlany jest postrzegane jako „modne” i ekologiczne. Bardzo często budynki realizowane w ramach zamówień publicznych zlecane są do wykonania właśnie w konstrukcji drewnianej. Poza tym realizowane są i były programy: Massive Wood, Norwegian Wood, nagroda Treprisen, Nagroda Deutscher Holzbaupreis, Innowacyjny Program Drzewny, skupiające się na wspieraniu budowania obiektów drewnianych. Ponadto modernizowane są budynki niemieszkalne w konstrukcji drewnianej w Hamburgu, przeprowadzane są kursy i szkolenia na uczelniach wyższych oraz organizowane są północno-niemieckie dni promocji budownictwa drewnianego z warsztatami w celu nauczania podstaw cyfrowej obróbki materiałów, wycieczką do „sztandarowych” obiektów drewnianych i z wykładami.

W Niemczech, obecnie, co szósty dom jest wykonany z drewna, a w Badenii-Wirtembergii nawet co trzeci. Stale rosnący trend wykorzystywania tego materiału budowlanego wiąże się m.in. z próbą rozwiązania problemu braku wystarczającej przestrzeni życiowej w miastach. Ze względu na swoje właściwości statyczne i ekologiczne powstaje tam coraz więcej wielopiętrowych konstrukcji drewnianych. W Niemczech realizowane są głównie działania miękkie dotyczące rozwoju kadry technicznej oraz promocji budownictwa drewnianego. Wprowadzane są także zmiany do lokalnego prawa w celu zmniejszenia trudności związanych z budową wysokich budynków drewnianych.

Czy i w jaki sposób administracja publiczna innych krajów propaguje idee budownictwa drewnianego wśród społeczeństwa?

Mała popularność budownictwa drewnianego spowodowana jest ograniczoną wiedzą i doświadczeniem w zakresie jego wykorzystania, a co za tym idzie brakiem wyspecjalizowanych, objętych systemem certyfikacji firm budowlanych, oferujących swoje usługi na wysokim poziomie. To, w połączeniu z drogim ubezpieczeniem budowanych domów, znacznie ogranicza dostęp do kapitału pozwalającego na realizację inwestycji deweloperskich, pozostawiając budownictwo drewniane w obszarze prywatnej zabudowy jednorodzinnej. Świadczy to jednocześnie o ogromnym, niezagospodarowanym jeszcze potencjale.

W związku z tym, iż istnieje wiele mitów i nieudomówień, m.in. wśród decydentów w instytucjach państwowych lub samorządowych odnośnie technologii budownictwa drewnianego, ale również wśród naszego społeczeństwa widoczne jest niezrozumienie korzyści wynikających z budowy domów w technologiach drewnianych. Właśnie ze względu na to wszelkie działania i przedsięwzięcia inwestycyjne, powinny być wspierane poprzez realizację działań tzw. miękkich, czyli działań, których efektem poszerzanie wiedzy, zwiększenie umiejętności czy wzmocnienie wizerunku. W przypadku budownictwa drewnianego zdecydowanie konieczny jest podział działań informacyjno-edukacyjnych na dwie grupy: działania kierowane do specjalistów z branży budowlanej oraz działania „ocieplające” wizerunek budownictwa drewnianego u ogółu społeczeństwa.

Jak opisano wcześniej w Kanadzie, Norwegii i w Niemczech podejmowane są również różnego rodzaju działania informacyjno-edukacyjno-promocyjne, których celem jest okazania zalet budownictwa drewnianego. Większość z nich skupia się jednak na działaniach branżowych, skierowanych do architektów i projektantów. Organizowane są obozy tematyczne, kursy i szkolenia na uczelniach wyższych, w jednym miejscu obiektów, wykonanych w konstrukcji drewnianej. Dobrym rozwiązaniem jest także utworzenie platformy dobrych praktyk, jak np. Wood for Good, ForestLearning czy też WoodSolutions dzięki której promowane jest wykorzystanie drewna w projektowaniu i budownictwie.

Innym rodzajem działań jest promocja istniejących lub realizowanych rozwiązań. W Norwegii i w Niemczech co roku lub co dwa lata przyznawane są nagrody za najciekawsze, innowacyjne i ekologiczne rozwiązania technologiczne przy zastosowaniu budownictwa drewnianego, jak np. Nagroda Treprisen lub Nagroda Deutscher Holzbaupreis.

Poza przykładami opisanymi w rozdziale 7, można wymieniać także przykłady z innych części świata. Jednym z nich jest kampania *Wood. Naturally Better*, której celem jest propagowanie zalet drewna oraz dotarcie do jak największej liczby odbiorców.

Zakończenie

Biorąc pod uwagę właściwości drewna można z tego materiału zbudować ekologiczne i energooszczędne budynki – konkurencyjne, jeśli chodzi o koszty inwestycyjne i utrzymania oraz

wysoki komfort użytkowania. Nowoczesne technologie drewniane oparte o prefabrykację i technologie modułowe pozwalają na budowę obiektów o wysokiej jakości, trwałości i bardzo krótkim czasie budowy. Niestety w Polsce wciąż budownictwo tego typu jest mało popularne. Wsparcie budownictwa jest zatem potrzebne, gdyż technologie drewniane w połączeniu z prefabrykacją idealnie wpisują się w wizję budownictwa niskoemisyjnego, spełniającego kryteria zrównoważonego rozwoju.



Załącznik 1

Z-1.1. Wielokryterialne systemy oceny oddziaływania budynku na środowisko

Wielokryterialny system oceny nowych i istniejących budynków składa się kryteriów i subkryteriów według których oceniany jest budynek w określonej skali punktowej. Uzyskanie określonej łącznej ilości punktów skutkuje przyznaniem określonej rangi certyfikatu np. złotego lub srebrnego.

Zazwyczaj w wyniku zastosowania na etapie projektowania systemu wielokryterialnej oceny ekologicznej podnosi się koszt budowy, ale zmniejszają koszty eksploatacyjne. Ponadto użycie systemu oceny ekologicznej i uzyskania odpowiedniego certyfikatu zapewnia prestiż, podnosząc tym samym wartość inwestycji. Do najbardziej znanych wielokryterialnych systemów oceny ekologicznej budynków należą amerykański LEED i brytyjski BREEAM.

LEED jest systemem certyfikacji rozpoznawalnym na arenie międzynarodowej, który w obiektywny sposób ocenia budynki pod kątem parametrów mających w budownictwie zrównoważonym największe znaczenie: oszczędność energii, racjonalne zużycie wody, zmniejszenie emisji CO₂, poprawa jakości środowiska wewnątrz pomieszczeń czy zarządzanie zasobami. Certyfikat został opracowany przez US Green Building Council (USGBC). Od 1994 certyfikatem zostało objętych ponad 90 tysięcy projektów budynków. Największą popularnością cieszy się w Stanach Zjednoczonych. Najnowsza wersja LEED v4 obowiązuje od 2014 roku.

Natomiast Certyfikat BREEAM został opracowany przez BRE (Building Research Establishment) w wielkiej Brytanii. Był pierwszym tego typu certyfikatem na świecie. Od 1991 certyfikatem zostało objętych około 540 tysięcy projektów. Ma 80% udział w europejskim rynku certyfikacji ekologicznej budynków. W porównaniu z LEED lepiej przystaje do lokalnych warunków atmosferycznych oraz legislacyjnych.

Do oceny ekologicznej budynków używany jest również współczynnik BEE (ang. Building Environmental Efficiency) zwany Współczynnikiem Efektywności Środowiskowej Budynku, wyrażający stosunek jego jakości oraz komfortu do negatywnego oddziaływania na środowisko. Budynek otrzymuje najwyższą ocenę, jeśli osiągnięcie komfortu nie następuje kosztem zwiększenia się negatywnego oddziaływania na środowisko. Wskaźnik BEE przyjmuje wtedy wartość większą od jedności.

Do oceny oddziaływania budynku na środowisko można zastosować system Ekozarządzania i Audytu–Eco Management and Audit Scheme (EMAS). EMAS jest instrumentem mającym na celu zachęcenie organizacji (przedsiębiorstw, zakładów, instytucji) do ciągłego doskonalenia swoich działań mających wpływ na środowisko naturalne i wyróżnienie tych, które poza spełnieniem przepisów prawa, wykazują dodatkowe inicjatywy mające zwiększyć ich efektywność środowiskową. Pierwsze rozporządzenie EMAS zostało przyjęte przez Parlament Europejski i Radę UE w 1993 r. i weszło w życie w połowie 1995 roku w postaci Dyrektywy o numerze 1836/93. Rozporządzenie to zobowiązuje państwa członkowskie UE do stworzenia struktury administracyjnej, umożliwiającej instytucjom rejestrację w unijnym systemie EMAS.

Swoistego rodzaju ocenę oddziaływania budynku na środowisko zawiera świadectwo charakterystyki energetycznej budynków. Aktualnie przepisy zwracają uwagę na aspekt środowiskowy w świadectwach charakterystyki energetycznej. Dążąc do jak największego ograniczenia negatywnego wpływu budynku na środowisko w świadectwie charakterystyki energetycznej pojawiły się takie wartości jak:

- udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową
- jednostkowa wartość emisji CO₂.

Udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową UOZE uzyskuje się licząc wielkość zużycia energii odnawialnej wykorzystywanej w poszczególnych systemach.

Z-1.2. Metody oceny oddziaływania budynku na środowisko w cyklu jego życia

Do oceny oddziaływania budynku na środowisko w całym cyklu życia stosuje się analizę LCA (Koncepcja tej metody powstała w latach 60. XX wieku i miała określa oddziaływanie na środowisko produktów przemysłowych. Analiza LCA polega ona na ustaleniu wzajemnego oddziaływania rozpatrywanego procesu i środowiska oraz określeniu ilościowym strumieni masy i energii przekazywanych i pobieranych ze środowiska. Rozpatrywane jest:

- wydobywanie oraz przetworzenie surowców naturalnych potrzebnych do wytworzenia danego systemu,
- proces produkcji,
- transport,
- dystrybucja,
- zużycie, ewentualnie ponowne przetworzenie,
- składowanie po zaniechaniu eksploatacji danego wyrobu.

W każdym z wymienionych etapów oddziaływania obiektu na środowisko, można uwzględnić jego negatywny oraz pozytywny charakter. Całkowite oddziaływanie na środowisko określane jest na podstawie bilansu negatywnych i pozytywnych oddziaływań.

W przypadku budynków metoda LCA może być rozpatrywana jako analiza oddziaływania poszczególnych materiałów budowlanych na środowisko. Zgodnie z koncepcją, analiza powinna uwzględniać proces produkcyjny poszczególnych materiałów. Obiekty budowlane mogą pełnić bardzo różne funkcje, mają długi czas życia oraz silnie ingerują w otaczające środowisko.

Problematyczną sprawą jest w przypadku budynków nowo wznoszonych określenie stanu budynku po zakończeniu eksploatacji. Natomiast w budynkach starych trudno jest określić dane dotyczące jego budowy. Do wykonania analizy niezbędne jest wyznaczenie granic rozpatrywanego systemu, które ściśle zależą od jego funkcji.

W przypadku budynków należy przeanalizować następujące etapy:

- budowa (projekt i przygotowania),
- eksploatacja (użytkowanie, remonty),
- zakończenie użytkowania (rozbiórka, zmiana przeznaczenia).

LCA jest interdyscyplinarnym narzędziem do kompleksowego określenia oddziaływania na środowisko. W tej metodzie najczęściej stosuje się podejście „od kołyski do grobu” dla pełnego zrozumienia i określenia konsekwencji środowiskowych. Analizowane są wszystkie etapy życia produktu czy usługi: wydobywanie surowców naturalnych, ich przeróbka, wytwarzanie półproduktów, produkcja zasadnicza, instalacja, eksploatacja i naprawy, usunięcie, recykling, utylizacja lub zdeponowanie na składowisku.

Analizując cykl życia technicznego wyrobów budowlanych oraz budynku, w jednym i drugim przypadku czynnikiem decydującym w sposób zasadniczy o długości okresu eksploatacji jest czynnik trwałości.

Im większa trwałość - tym mniejsze zagrożenie środowiska naturalnego z tytułu poboru surowców naturalnych oraz energii i wody do celów produkcji wyrobów budowlanych oraz budowy nowego obiektu, nie licząc problemów z utylizacją odpadów pozostałych po rozbiórce budynku zdegradowanego pod względem technicznym.

Materiały budowlane posiadają cechy fizyczne i chemiczne nadane im w procesie produkcji zgodnie z obowiązującymi wymaganiami technicznymi. Ich trwałość oraz stopień przyjazności dla środowiska naturalnego wynikają z przyjętej technologii.

Klasyczna analiza LCA nie uwzględnia aspektów ekonomicznych inwestycji, dlatego równoległe z LCA wykonywana jest analiza kosztów cyklu życia (LCC).

Analiza kosztów cyklu życia jest to technika, która umożliwia porównanie kosztów w ramach określonego okresu czasu, przy czym brane pod uwagę są wszystkie istotne czynniki ekonomiczne w sensie kosztów początkowych inwestycji początkowej i późniejszej eksploatacji. LCC jest sumą wszystkich kosztów ponoszonych podczas cyklu życia wyrobu (działalność inwestycyjno-remontowa, wytwórcza, faza użytkowania i likwidacji). Główna różnica pomiędzy tradycyjnym rachunkiem inwestycyjnym i LCC polega na rozszerzeniu perspektywy cyklu życia w LCC, co oznacza, że obejmuje nie tylko koszty inwestycyjne, ale także operacyjne podczas szacowanego cyklu życia przedsięwzięcia. LCC znajduje szerokie zastosowanie w podejmowaniu decyzji, zwłaszcza w odniesieniu do zielonych zamówień publicznych. LCC definiuje się też jako całkowite koszty wyrobu w całym okresie życia, zawierające koszty planowania, projektowania, nabycia, eksploatacji, konserwacji oraz składowania i likwidacji, pomniejszone o wartość rezydualną.

Koszty cyklu życia w zależności od celu i szczegółowości analizy można podzielić na trzy kategorie:

- konwencjonalne (conventional LCC) – uwzględniające koszty zakupu surowców, energii, koszty pracy, amortyzację, usługi obce oraz koszty użytkowania wyrobów i ich likwidacji bądź ponownego wykorzystania,
- środowiskowe (environmental LCC) – wprowadzające dodatkowo koszty ochrony środowiska do kosztów wyrobu lub działalności,
- społeczne (societal LCC) – to koszty środowiskowe powiększone o koszty zewnętrzne.

Przy analizie LCC powinno się uwzględniać następujące założenia:

- Porównywane pod względem kosztów powinny być tylko projekty i/lub elementy, które spełniają projektowany okres użytkowania, wymagania funkcjonalne i dotyczące właściwości użytkowych.
- Powinny być preferowane te rozwiązania, które spełniają wymagania właściwości użytkowych, ale mają niższe koszty cyklu życiowego.
- Powinny być uwzględniane koszty w takim samym okresie użytkowania zarówno całego budynku jak i jego elementów.
- Wszystkie istotne czynniki ekonomiczne, włączając koszty przypadkowe (np. koszty wybrania raczej tej inwestycji niż innej), powinny być włączone do analizy.
- Koszty początkowe zawierają koszty odnoszące się bezpośrednio do całego budynku i jego elementów i konstrukcji, włączając projekt, konstrukcję i instalację opłaty i obciążenia.

- Przyszłe koszty obejmują wszystkie koszty operacyjne (tj. energię i czyszczenie), utrzymanie, kontrolę, wymianę i wyburzenie lub usunięcie.
- Koszty utrzymania zawierają koszty wymiany, naprawy, odnowienia, demontażu i ponownego montażu. Powinny być włączone również koszty cyklicznego utrzymania i utrzymania codziennego jak również ulepszeń i zmian. Powinna być zrobiona rezerwa na doraźne utrzymanie, oszacowana, jeśli to tylko jest możliwe na kosztach ponoszonych w przeszłości i doświadczeniu.
- Powinien być brany pod uwagę harmonogram przyszłych kosztów w LCC (np. przez dyskonto przyszłych kosztów do wartości dnia dzisiejszego). Metodyka szacowania kosztu cyklu życia budynku może znaleźć szerokie zastosowanie przy podejmowaniu decyzji: w projektowaniu zintegrowanym, wyborze technologii, sposobu użytkowania czy termomodernizacji. Może też być użyteczna dla jednostek publicznych przy przetargach (np. budowa nowego ratusza, szkoły czy termomodernizacja), w których powinna się liczyć efektywność wykorzystania środków publicznych.

Analiza LCC umożliwia wybór najbardziej ekonomicznego rozwiązania i pomaga w planowaniu i kontroli kosztów użytkowania budynku. Może być wykorzystana do określenia, czy ponoszone nakłady inwestycyjne na rozwiązania energooszczędne przyniosą wymierny efekt ekonomiczny.

Załącznik 2

Z-2.1. Zestawienie wyrobów budowlanych branych pod uwagę do obliczeń

Tabela Z. 1 Elementy budynku – okna, drzwi, rekuperator, kocioł gazowy i panele fotowoltaiczne. Wartości poniższe przyjęto takie same dla wszystkich budynków. W przypadku centrali wentylacyjnej wyliczono wartości proporcjonalnie do masy urządzenia.

Opis	Jednostka	Energia wbudowana [MJ]	Ślad węglowy [kg CO ₂]	Źródło danych
Okno PVC-U 80mm trzyszybowe Ug/f/w=0,7/1,1/0,9	1,82 m ²	2755,3	146	IBU EPD - QKE - 20130248 - IBG2 - EN
Okno dachowe trzyszybowe Uw=1,0	1,6 m ²	2117,9	93	EPD Velux
Drzwi wewnętrzne	1 szt	3100	82	EPD Masonite
Drzwi zewnętrzne wejściowe	1 szt (1)	1544,4	114	EPD-ASA-20150073-IBA1-EN
Centrala wentylacyjna z wymiennikiem ciepła	368 kg	20306	1402	Oekobaudat
Kocioł gazowy kondensacyjny 20kW stojący 133 kg	1 szt	16612	1095	Oekobau 8.1.01 Gas-Brennwertgerät
Panel PV polikrystaliczny	1 szt (280 W)	4070	208	ICE 2.0 uśrednione wartości EE (1945-5660), EC (99 to 289)

Z-2.2. Zestawienie wyrobów z drewna

Tabela Z. 2 Zestawienie drewnianych i drewnopochodnych wyrobów budowlanych z podaniem wartości śladu węglowego oraz energii wbudowanej w przeliczeniu na jednostkę funkcjonalną 1 m³. Niektórzy autorzy uwzględnili wychwyty dwutlenku węgla. (w) – uwzględniono wychwyty CO₂ (bw) – nie uwzględniono wychwyty CO₂.

Nazwa	Gęstość [kg/m ³]	GWP [kg CO ₂ e.]	EW [MJ]	Źródło
CLT (X-lam) (bw)	422,4	70,52 ¹⁰⁶	3327,64	EPD Nordic X-Lam
CLT (X-lam) (w)	491,65	-601,8	14203,4	EPD-SHL-2012211-EN
CLT Stora Enso (w)	470	-671 ¹⁰⁷	10064	EPD Stora Enso
CLT (w)	437,74	-567,3 ¹⁰⁸	10841	NEPD-1269-410-EN
Drewno budowlane – sosnowe suszone (bw)		42,84	2412	ÖKOBAUDAT
Drewno budowlane – sosnowe suszone (w)	549	-877	4139	ÖKOBAUDAT 3.1.01 Schnittholz Kiefer
Tarcica z drzew iglastych (bw)	433,57	72,64	2866,92	13CA24184.102.1
Tarcica z drzew iglastych (przeliczono dla sosny) (bw)	550	324,5	4070	ICE 2.0
Drewno konstrukcyjne C24 (bw)	420 Śr. gęstość wg PN-EN 338	247,8	3108	Przeliczono na podstawie ICE 2.0
Drewno LVL (w)	440-510	-653	12610	EPD Kerto LVL
Drewno LVL (bw)	545,87	201,80	7186,17	EPD North American LVL 13CA24184.105.1

¹⁰⁶ Nie uwzględniono wychwyty dwutlenku węgla wynoszącego (-) 764,56 [kg CO₂e]

¹⁰⁷ Uwzględniono wychwyty dwutlenku węgla (-) 731 [kg CO₂e] (emisja bez wychwyty 60 [kg CO e])

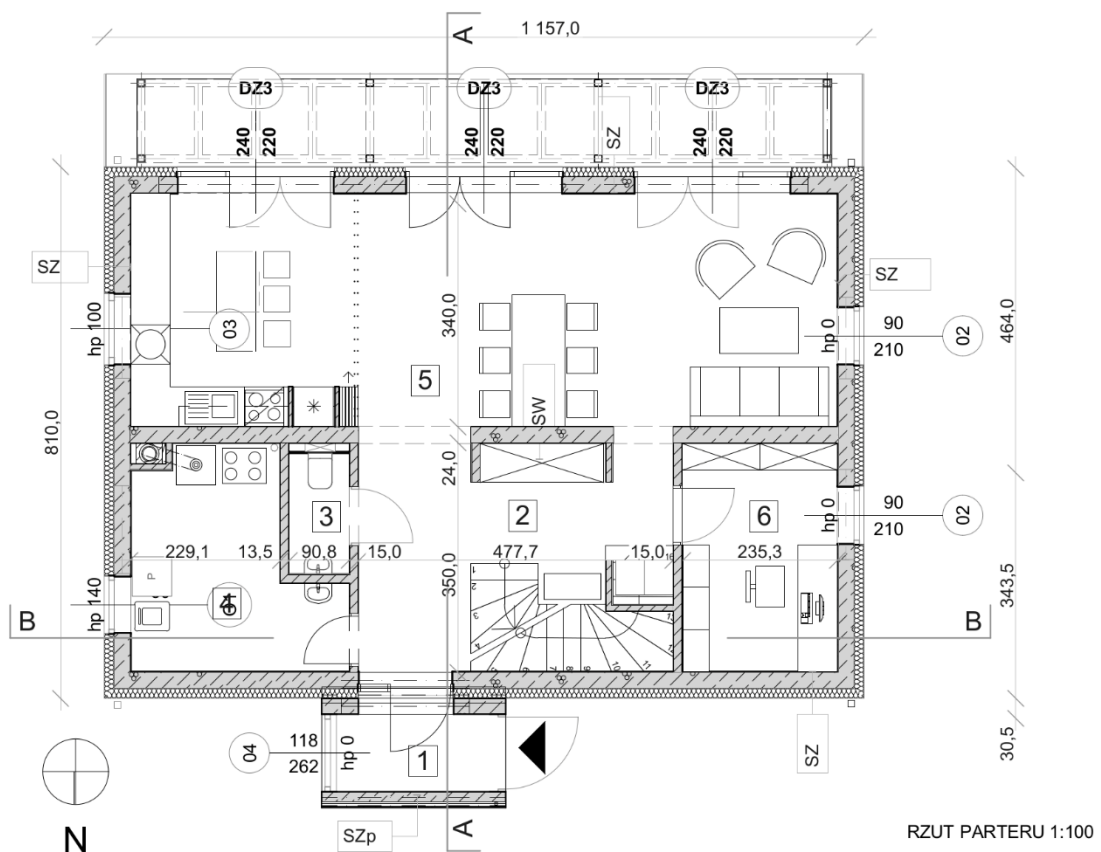
¹⁰⁸ Uwzględniono wychwyty i emisję biogeniczną (-) 708 kg [CO₂e]

ŚRODOWISKOWE ASPEKTY NOWOCZESNEGO BUDOWNICTWA DREWNIANEGO

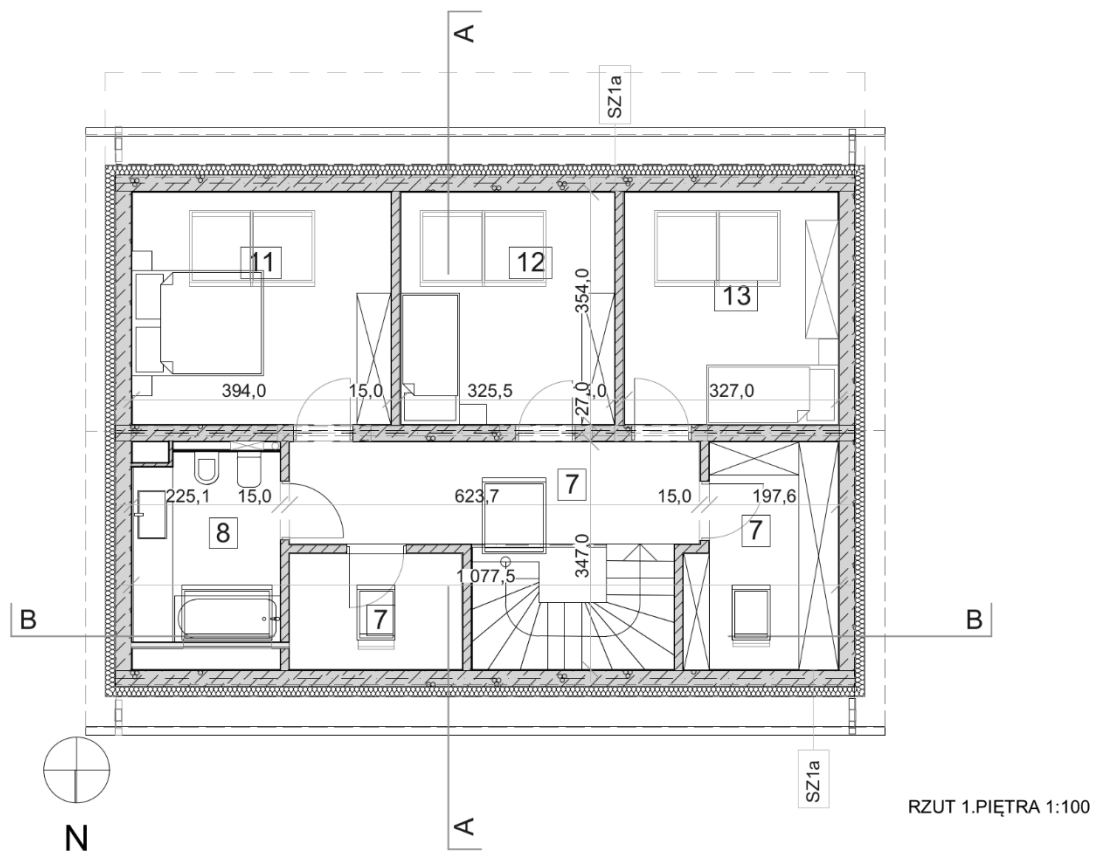
Nazwa	Gęstość [kg/m ³]	GWP [kg CO ₂ e.]	EW [MJ]	Źródło
Drewno LVL (w)	488	-537	15800	Wood for Good Lifecycle Database – PeInternational
Drewno KVH (w)	490,13	-729,85	11138,22	EPD-ÜKH-2012111-EN
Drewno konstrukcyjne (w)	420	-607	3833 9770+902	NEPD-308-179-EN Epd-norge.no Zawiera 660 kg CO ₂ zasymilowanego
Płyty OSB (w)	600	-580,7	20866	ÖKOBAUDAT 3.2.04 Holz / Holzwerkstoffe / OSB-Platte
Płyty OSB (bw)	600	202,08	20866	ÖKOBAUDAT 3.2.04 Holz / Holzwerkstoffe / OSB-Platte
Płyty OSB (bw)	605	598,95	9075	ICE 2.0
Parkiet (drewno lite liściaste) (w)	717	-693,3	51754	OEOBAU.DAT: 3.3.02 Wood / Wooden floor / Parquet

Źródło: Pierzchański, 2018

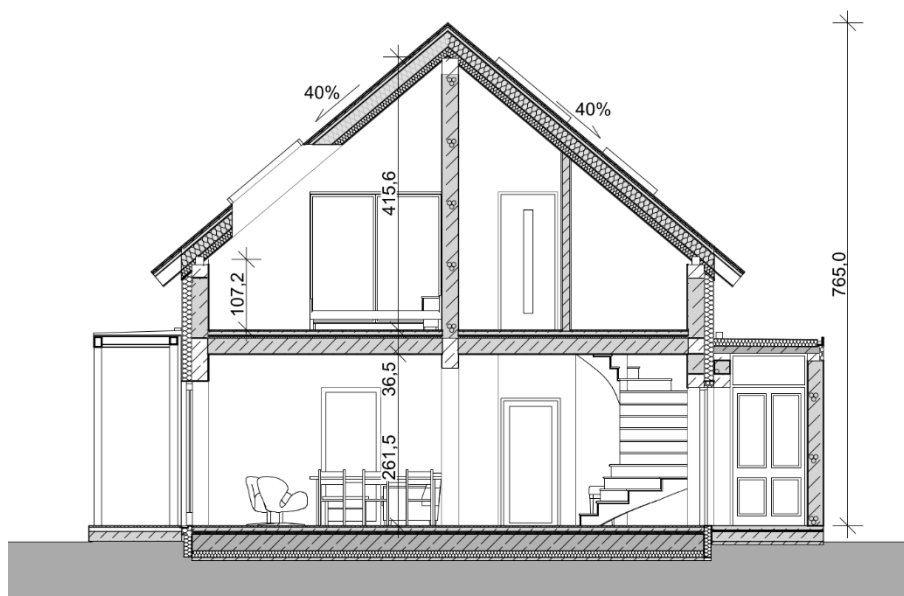
Z-2.3. Rozwiązania techniczne – budynek murowany WT2021



Rysunek Z. 1 Budynek referencyjny murowany. Rzut parteru.



Rysunek Z. 2 Budynek referencyjny murowany. Rzut poddasza.



Rysunek Z. 3 Budynek referencyjny murowany. Przekrój AA.

Z-2.4.1. Opis

Zaprojektowano budynek posadowiony na żelbetowej płycie fundamentowej o grubości 25 cm. Jako termoizolację zastosowano płyty z polistyrenu ekstrudowanego o grubości 10 cm pod płytą żelbetową oraz dodatkową warstwę izolacji o grubości 4 cm nad płytą fundamentową. Szczegółowy opis warstw znajduje się poniżej w Tabeli Z.3.

Tabela Z. 3 Warstwy przegród, współczynniki U_c [$W/(m^2K)$] przegród zgodnie z WT2021

Ozn.	Opis	Warstwy (od zewnątrz dla przegród pionowych lub od góry dla przegród poziomych)	Wsp. U_c [$W/(m^2K)$] (w nawiasie maks. wymagania zgodnie z WT2021)
SZ	Ściana zewnętrzna	- tynk silikonowy (systemowy), - styropian EPS $\lambda=0,032$ W/mK gr. 15 cm, - bloczek beton komórkowy PP4/600 S+GT gr. 24 cm, - tynk cementowo-wapienny 1,5 cm.	0,20 (0,20)
PG	Podłoga na gruncie	- deski podłogowe/parkiet dębowy gr. 2 cm, - wylewka betonowa gr. 6,5 cm, - folia PE 0,2 mm, - styropian podłogowy EPS $\lambda=0,036$ W/mK gr. 4 cm, - folia PE 0,2 mm, - płyta żelbet gr. 25cm, - polistyren ekstrudowany XPS $\lambda=0,036$ W/mK gr. 10 cm - 2 x papa bitumiczna na lepiku modyfikowana SBS, - beton podkładowo-wyrównawczy gr. 10 cm, - piasek zagęszczany mechanicznie gr. 20 cm.	0,22 (0,30) Obliczenia wsp. U nie uwzględniają oporu gruntu.
D	Dach	- blachodachówka z blachy powlekanej, - pełne deskowanie 2,5 cm, szer. max. 16 cm, -łaty 4x5 cm / przestrzeń wentylacyjna, - membrana paroprzepuszczalna wiatrochronna, - krokwie 6x18 cm co 60 cm, pomiędzy wełna mineralna $\lambda=0,033$ W/mK gr. 18 cm, - wełna mineralna na ruszcie stalowym $\lambda=0,033$ W/mK gr. 10 cm, - płyty MFP 10 mm, - folia opóźniacz pary wodnej, - płyty gipsowo-kartonowe gr. 1,25 cm.	0,133 (0,15)
SW	Strop międzykondygnacyjny	- deski podłogowe/parkiet dębowy gr. 2cm, - wylewka betonowa gr. 6,5 cm, - folia PE 0,2 mm, - Styropian AKU $\lambda=0,050$ gr. 4 cm, - strop Teriva 4.0/1 gr. 24 cm, - tynk cementowo wapienny 1,5cm.	Nie dotyczy
SZp	Ściana zewnętrzna (przedsionek)	- tynk silikonowy (systemowy), - bloczek beton komórkowy PP4/600 S+GT gr. 24 cm, - tynk cementowo-wapienny 1,5 cm.	Nie dotyczy

Z-2.4.2. Ściany

Ściany zewnętrzne murowane z bloczków betonu komórkowego PP4/0,6 gr. 24 cm oraz docieplone styropianem $\lambda=0,032$ W/(m*K) gr. 15 cm.

Ściany wewnętrzne konstrukcyjne murowane z bloczków betonu komórkowego PP4/0,6 gr. 24cm, działowe z bloczków betonu komórkowego o grubości 10 cm i 7,5 cm oraz tynkowane tynkiem cementowo-wapiennym.

Szczegółowy opis warstw znajduje się w **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** powyżej.

Z-2.4.3. Dach

Zaprojektowano dach krokwiowo płatwiowy. Krowie drewniane z drewna suszonego komorowo 4 krotnie struganego C24 o przekroju 6x18 cm, oparte na murlacie 14x14 cm mocowanej do wieńca żelbet kotwami stalowymi co 80 cm. Krokwie oparte w kalenicy na płatwi drewnianej o wymiarach 15x18 cm.

Szczegółowy opis warstw znajduje się w **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** powyżej.

Z-2.4.4. Okna pionowe

Zastosowano okna z profili PVC o współczynniku $U_w=0,9$ [W/m²rok] lub mniej. Projekt zakłada tzw. ciepły montaż, jest to szczelny montaż w warstwie izolacji termicznej w celu redukcji wpływu mostków cieplnych. Montaż powinien być szczelny przy użyciu taśm paroszczelnych (stosowanych od wewnętrznej strony) i wiatrochronnych (paroprzepuszczalnych) stosowanych od zewnątrz.

Z-2.4.5. Okna dachowe

Zastosowano okna dachowe o wymiarach 94x140 (6 sztuk), 55x98 (2 sztuki) oraz 134x98 (1 sztuka) o współczynniku $U_w=1,1$ np. Okna Fakro FTP-V U5. Od południa należy przy każdym oknie zastosować zewnętrzne markizy przeciwsłoneczne (rozpinane ręcznie).

Z-2.4.6. Strop międzykondygnacyjny

Zaprojektowano strop gęstożebrowy Teriva 4.0/1 gr. 24 cm.

Szczegółowy opis warstw przegród znajduje się w **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** p
owyżej.

Z-2.4.7. Nieogrzewany przedsionek

Od strony północnej zaprojektowano nieogrzewany przedsionek. Przedsionek będzie posadowiony na płycie fundamentowej o gr. 18 cm. Ściany przedsionka zaprojektowano jako murowane z bloczków betonu komórkowego gr. 24 cm. Dach stanowi płyta żelbetowa gr. 15 cm z warstwą spadkową z twardego styropianu dachowego. Pokrycie przedsionka z membrany/folii dachowej FPO.

Z-2.4.8. Zadaszenie i taras od strony południowej

W celu ochrony przed przegrzewaniem budynku w sezonie letnim, zaprojektowano zadaszenie na konstrukcji stalowej z zimno giętych profili o przekroju kwadratowym. Pokrycie zadaszenia płytami HPL.

Taras wykonany na ławach fundamentowych. Podkonstrukcja oraz deski tarasowe z drewna świerkowego.

Z-2.4.9. Instalacje sanitarne

Kanalizacja sanitarna

W projektowanym budynku mieszkalnym przewidziano jeden pion kanalizacyjny wykonany z rur PVC. Ścieki przyjmowane będą z przyborów sanitarnych do przewodu odpływowego prowadzonego

pod posadzką parteru a następnie skierowane zostaną na zewnątrz budynku. Przewody odpływowe prowadzone od przyborów sanitarnych zostaną wykonane z rur PP 40-110 mm łączonych na kielichy z uszczelkami typu wargowego.

Instalację podposadzkową zaprojektowano z rur:

- PVC kl. „S”, kielichowych z uszczelkami gumowymi – w części zewnętrznej budynku,
- PVC kl. „N”, kielichowych z uszczelkami gumowymi – w części wewnętrznej budynku.

Główny pion wyposażony będzie w odpowietrzenie wyprowadzone nad dach i zakończone kominkiem wentylacyjnym na wysokości 0,6 m nad połacią dachu lub czapką kominka wentylacyjnego.

Instalacja wodociągowa

Przewód wodociągowy pomiędzy przyłączem, a wejściem do pomieszczenia technicznego należy wykonać z rur PE-HD 50mm.

Wewnętrzną instalację wody zimnej projektuje się z rur wielowarstwowych PE-X/Al/PE-RT. Instalację wody ciepłej projektuje się z rur wielowarstwowych PE-X/Al/PE-RT. Połączenie przewodów wykonać stosując kształtki systemowe.

Ciepła woda użytkowa przygotowywana będzie przez kondensacyjny kocioł gazowy. Zastosowano zasobnik ciepłej wody o pojemności 200 L.

Z-2.4.10. Instalacja centralnego ogrzewania

Zaprojektowano instalację dwururową, pompową w układzie zamkniętym, odpowietrzaną automatycznie i ręcznie, zabezpieczoną naczyniem przeponowym. Przyjęto trójnikowy system rozdziału ciepła. Rurociągi instalacji c.o. prowadzone są w warstwach posadzkowych od pomieszczenia garażu do poszczególnych odbiorników. Instalację zaprojektowana z rur PE-Xc.

Instalację ogrzewania podłogowego została zaprojektowana z rur typ: PE-X z osłoną antydyfuzyjną. Rury układane na warstwie izolacji cieplnej (następnie zalane szlichtą cementową).

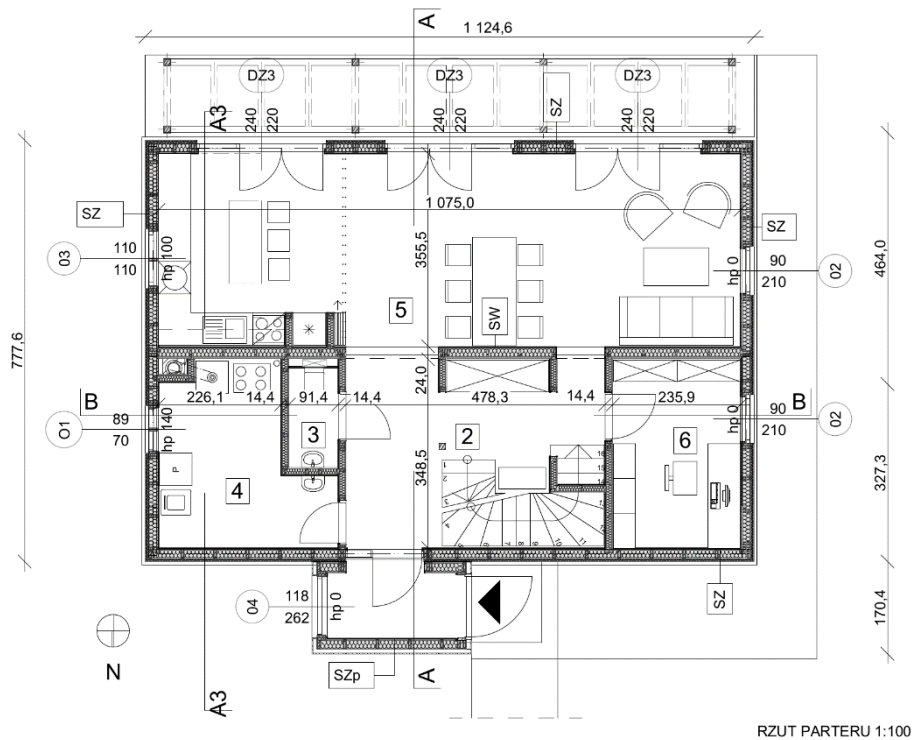
Kotłownia

W celu pokrycia zapotrzebowania na ciepło w budynku projektuje się kotłownię gazową wyposażoną w kocioł gazowy znajdujący się w pomieszczeniu technicznym na parterze. Przewiduje się zastosowanie kotła gazowego kondensacyjnego z zamkniętą komorą spalania. Obieg wody grzewczej w obiegach c.o. i ładowania zasobnika c.w.u. wymuszony będzie pracą pomp obiegowych.

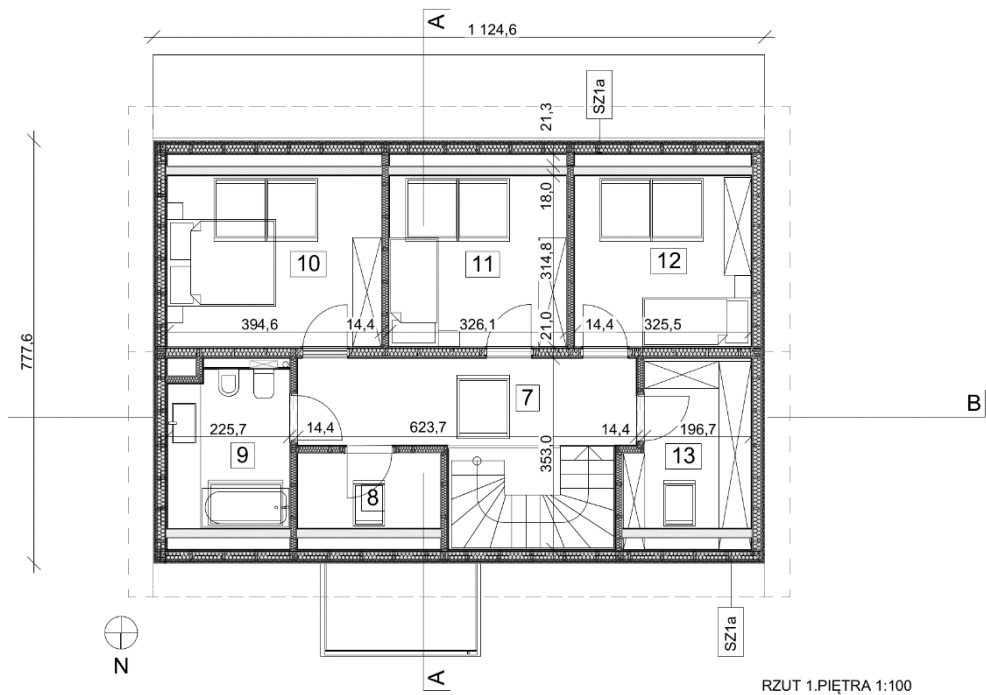
Z-2.4.11. Instalacja wentylacji

W budynku projektuje się instalację mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła zapewniającej dostarczenie do pomieszczeń przeznaczonych do stałego przebywania ludzi zlokalizowanych na parterze i piętrze niezbędnego minimum powietrza świeżego, w ilości zapewniającej 1 wym./h, dzięki czemu spełniony zostaje warunek niezbędnego minimum powietrza świeżego na osobę w ilości 30 m³/h os. Pomieszczenia obsługiwane są przez zespół nawiewno-wyciągowy N1/W1 umieszczony w pomieszczeniu technicznym na poziomie parteru. Zastosowano centralę wentylacyjną o wydatku powietrza 350 m³/h i sprawności odzysku 85%.

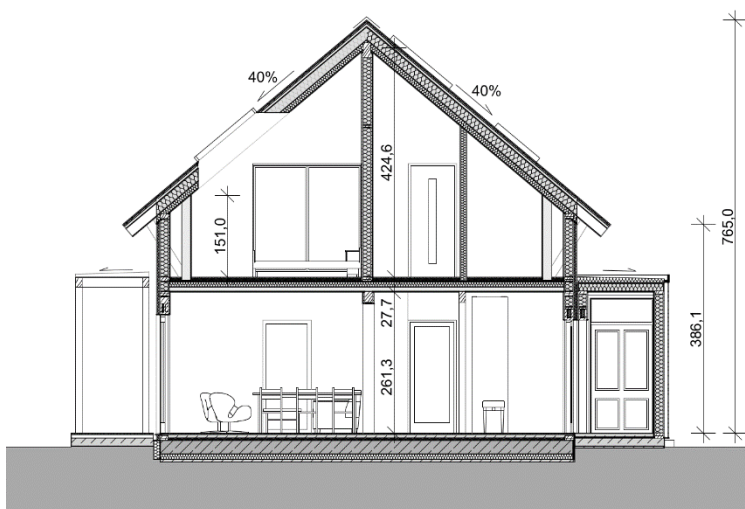
Z-2.4. Rozwiązania techniczne – budynek szkielet drewniany WT2021



Rysunek Z. 4 Budynek w konstrukcji drewnianej. Rzut parteru.



Rysunek Z. 5 Budynek w konstrukcji drewnianej. Rzut poddasza.



Rysunek Z. 6 Budynek w konstrukcji drewnianej. Przekrój AA

Z-2.4.1. Opis

Zaprojektowano budynek posadowiony na żelbetowej płycie fundamentowej o grubości 20 cm. Jako termoizolację zastosowano płyty z polistyrenu ekstrudowanego o grubości 10 cm pod płytą żelbetową oraz dodatkową warstwę izolacji o grubości 4 cm nad płytą fundamentową.

Z-2.4.2. Ściany

Ściany zewnętrzne w prefabrykowanej konstrukcji szkieletowej drewnianej.

Na Polskim rynku funkcjonują dwa systemy wymiarowe asortymentu konstrukcyjnego drewna litego – skandynawski w oparciu o słupki 45x145 mm i niemiecki 60x160 mm. Drugie rozwiązanie to drewno łączone na mikrowczepy.

Ściany konstrukcyjne wykonane w oparciu o słupki 45x145 mm w rozstawie co max. 60 cm. Drewno konstrukcyjne, suszone komorowo strugane czterostronnie C24, certyfikowane.

Jako element usztywniający (tarcze) zastosowano jednostronnie płyty OSB oraz wzmocnione płyty gipsowo-kartonowe np. Rigips RIDURO.

Z-2.4.3. Dach

Dach krokwiowo płatwiowy. Krowie drewniane z drewna suszonego komorowo 4 krotnie struganego C24 o przekroju 60x180 mm. Krowie oparte w kalenicy na płatwi drewnianej 150x180 mm.

Z-2.4.4. Okna pionowe

Zastosowano okna z profili PVC o współczynniku $U_{\max}=0,9$ W/mK.

Z-2.4.5. Okna dachowe

Zastosowano okna dachowe o wymiarach 94x140 (6 sztuk), 55x98 (2 sztuki) oraz 134x98 (1 sztuka) o współczynniku $U_{max}=1,1$ np. Okna Fakro FTP-V U5. Od południa należy zastosować zewnętrzne markizy (rozpinane ręcznie).

Z-2.4.6. Strop międzykondygnacyjny

Zaprojektowano strop drewniany z belek 60x180 mm oraz wierzchniej płyty OSB 22mm.

Szczegółowy opis warstw przegród znajduje się w Tabeli 3.8

Tabela Z. 4 Warstwy przegród, współczynniki U_c [$W/(m^2K)$] przegród zgodnie z WT2021

Ozn.	Opis	Warstwy (od zewnątrz dla przegród pionowych lub od góry dla przegród poziomych)	Wsp. U_c [$W/(m^2K)$] (w nawiasie maks. wymagania zgodnie z WT2017)
SZ	Ściana zewnętrzna (budynek)	- tynk hydrofilowy, - wełna mineralna skalna gr 5 cm $\lambda=0,036$, - wzmocniona płyta gipsowo-kartonowa np. Rigips RIDURO, - konstrukcja słupki drewno C24 45x145 w rozstawie co ok. 60cm / pomiędzy wełna mineralna $\lambda=0,033$ W/mK, - płyta OSB-3 gr. 18mm – klejona na łączeniach taśmą paroszczelną, - membrana opóźniacz pary wodnej klejona na zakład, - płyta GK.	0,18 (0,20)
PG	Podłoga na gruncie	- deski podłogowe/parkiet dębowy gr. 2 cm, - wylewka betonowa gr. 6,5 cm, - folia PE 0,2 mm, - styropian podłogowy EPS $\lambda=0,036$ gr. 4 cm, - folia PE - płyta żelbet gr 25cm - polistyren ekstrudowany XPS 036 gr. 10cm - 2 x papa bitumiczna na lepiku modyfikowana SBS, - beton podkładowo-wyrównawczy gr. 10 cm, - piasek zagęszczany mechanicznie gr. 20 cm.	0,22 (0,30) Obliczenia wsp. U nie uwzględniają oporu gruntu.
D	Dach	- dachówka ceramiczna - pełne deskowanie 2,5 cm, szer. max. 16 cm, -łaty 4x5 cm / przestrzeń wentylacyjna, - membrana paroprzepuszczalna wiatrochronna, - krokwie 6x18 cm co 60 cm, pomiędzy wełna mineralna $\lambda=0,033$ gr. 18 cm, - wełna mineralna na ruszcie stalowym $\lambda=0,033$ gr. 10 cm, - płyty MFP 10mm - folia opóźniacz pary wodnej, - płyty gipsowo-kartonowe gr. 1,25 cm.	0,133 (0,15)
SW	Strop międzykondygnacyjny	- deski podłogowe/parkiet dębowy gr. 2cm, - płyty Steico floor 40mm + deski systemowe Steico floor - płyta OSB-3 gr. 22mm, - strop belki 5x18cm co ok. 30cm pomiędzy wełna mineralna akustyczna gr 10 cm, - nad łazienkami folia paroszczelna, - płyta GK	Nie dotyczy
SZp	Ściana zewnętrzna (przedsionek)	- tynk - wzmocniona płyta gipsowo-kartonowa np. Rigips RIDURO - konstrukcja słupki drewno C24 45x150 w rozstawie co ok. 60cm/ pomiędzy wełna mineralna $\lambda=0,033$ - płyta OSB-3 gr. 18mm – klejona na łączeniach taśmą paroszczelną - membrana opóźniacz pary wodnej klejona na zakład - płyta GK	Nie dotyczy

Z-2.4.7. Instalacje sanitarne

Kanalizacja sanitarna

W projektowanym budynku mieszkalnym przewidziano jeden pion kanalizacyjny wykonany z rur PVC. Ścieki przejmowane będą z przyborów sanitarnych do przewodu odpływowego prowadzonego pod posadzką parteru a następnie skierowane zostaną na zewnątrz budynku. Przewody odpływowe prowadzone od przyborów sanitarnych zostaną wykonane z rur PP 40-110 mm łączonych na kielichy z uszczelkami typu wargowego.

Instalację podposadzkową zaprojektowano z rur:

- PVC kl. „S”, kielichowych z uszczelkami gumowymi – w części zewnętrznej budynku,
- PVC kl. „N”, kielichowych z uszczelkami gumowymi – w części wewnętrznej budynku.

Główny pion wyposażony będzie w odpowietrzenie wyprowadzone nad dach i zakończone kominkiem wentylacyjnym na wysokości 0,6 m nad połacią dachu lub czapką kominka wentylacyjnego.

Instalacja wodociągowa

Przewód wodociągowy pomiędzy przyłączem, a wejściem do pomieszczenia technicznego należy wykonać z rur PE-HD 50mm.

Wewnętrzną instalację wody zimnej projektuje się z rur wielowarstwowych PE-X/Al/PE-RT. Instalację wody ciepłej projektuje się z rur wielowarstwowych PE-X/Al/PE-RT. Połączenie przewodów wykonać stosując kształtki systemowe.

Ciepła woda użytkowa przygotowywana będzie przez kondensacyjny kocioł gazowy. Zastosowano zasobnik ciepłej wody o pojemności 200 L.

Z-2.4.8. Instalacja centralnego ogrzewania

Zaprojektowano instalację dwururową, pompową w układzie zamkniętym, odpowietrzaną automatycznie i ręcznie, zabezpieczoną naczyniem przeponowym. Przyjęto trójnikowy system rozdziału ciepła. Rurociągi instalacji c.o. prowadzone są w warstwach posadzkowych od pomieszczenia garażu do poszczególnych odbiorników. Instalację zaprojektowaną z rur PE-Xc.

Instalację ogrzewania podłogowego została zaprojektowana z rur typ: PE-X z osłoną antydyfuzyjną. Rury układane na warstwie izolacji cieplnej (następnie zalane szlichtą cementową).

Kotłownia

W celu pokrycia zapotrzebowania na ciepło w budynku projektuje się kotłownię gazową wyposażoną w kocioł gazowy znajdujący się w pomieszczeniu technicznym na parterze. Przewiduje się zastosowanie kotła gazowego kondensacyjnego z zamkniętą komorą spalania. Obieg wody grzewczej w obiegach c.o. i ładowania zasobnika c.w.u. wymuszony będzie pracą pomp obiegowych.

Z-2.4.9. Instalacja wentylacji

W budynku projektuje się instalację mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła zapewniającej dostarczenie do pomieszczeń przeznaczonych do stałego przebywania ludzi

zlokalizowanych na parterze i piętrze niezbędnego minimum powietrza świeżego, w ilości zapewniającej 1 wym./h, dzięki czemu spełniony zostaje warunek niezbędnego minimum powietrza świeżego na osobę w ilości 30 m³/h os. Pomieszczenia obsługiwane są przez zespół nawiewno-wyciągowy N1/W1 umieszczony w pomieszczeniu technicznym na poziomie parteru. Zastosowano centralę wentylacyjną o wydatku powietrza 350 m³/h i sprawności odzysku 85%.

Z-2.5. Analiza Life Cycle Assessment

Z-2.5.1. Budynki w standardzie WT2021

Tabela Z. 5 Zestawienie użytych wyrobów – okien, drzwi oraz podstawowych urządzeń technicznych (we wszystkich wariantach jednakowe). Kalkulacje energii wbudowanej i śladu węglowego (faza wyrobu A1-A3)

Wyrób	Jednostka	Ilość jednostek	Energia wbudowana [MJ]	Ślad węglowy [kg CO ₂]
Okno PVC-U 80mm trzyszybowe Ug/f/w=0,7/1,1/0,9	1,82 m ²	16,84	46401,07	2458,74
Okno dachowe trzyszybowe Uw=1,0	1,6 m ²	7,25	15361,39	674,54
Drzwi wewnętrzne	1 szt	9,0	27900,00	738,00
Drzwi zewnętrzne wejściowe	1 szt	1,0	1544,40	114,00
Centrala wentylacyjna z wymiennikiem ciepła	368 kg	0,11	2151,99	148,58
Kocioł gazowy kondensacyjny 20kW stojący 133 kg	1 szt	1,0	16612,00	1095,00
Panel PV polikrystaliczny	1 szt (280 W)	4,0	16280,00	832,00
SUMA			126250,86	6060,86

Tabela Z. 6 Zestawienie użytych materiałów w budynku referencyjnym murowanym WT2021.

Nazwa	Objętość [m ³]
Beton	15,811
Beton komórkowy 500	56,185
Beton komórkowy 500Z	1,453
Beton P-W	4,386
Beton/Teriva	16,867
Dachówka	0,091
Deski dębowe	0,316
Drewno konstrukcyjne	6,039
Drewno podłogowe	3,326
Folia dachowa FPO-PP	0,009
Folia PE	0,428
Membrana paroprzepuszczalna	1,304
Papa bitumiczna	0,343
Piasek	32,159
Płyta GK	1,852
Płyta OSB	0,273
Podsypka cement.-piaskowa	6,186
Polistyren ekstrudowany XPS	8,772
Stal konstrukcyjna	0,211
Styropian EPS 032	23,426
Styropian EPS 038	8,127

Tynk cementowo-wapienny	6,705
Tynk mineralny	0,844
Węlna mineralna	29,926
Żelbet belki	6,419
Żelbet płyta	23,244
Żelbet słup	1,296

Tabela Z. 7 Zestawienie użytych materiałów w budynku w technologii drewnianej WT2021.

Nazwa	Objętość [m ³]
Beton	8,609
Beton P-W	4,244
Dachówka	2,631
Drewno konstrukcyjne	19,147
Drewno podłogowe	3,503
Folia PE	0,421
Membrana paroprzepuszczalna	1,302
Papa bitumiczna	0,345
Piasek	31,418
Płyta GK	10,294
Płyta OSB	9,35
Podsypka cement.-piaskowa	6,199
Polistyren ekstrudowany XPS	8,575
Styropian EPS 038	5,121
Tynk mineralny	0,826
Węlna mineralna skalna	11,272
Węlna mineralna szklana	67,459
Żelbet belka	0,099
Żelbet płyta	21,827
Żelbet słup	1,311

Kalkulacje energii wbudowanej i śladu węglowego dla poszczególnych materiałów budowlanych dla faz A1-A3 zestawiono w tabeli 3.12 (budynek murowany) oraz w tabeli 3.13 (budynek drewniany bez uwzględniania wychwytu CO₂) i 3.14 (budynek drewniany z uwzględnieniem wychwytu CO₂).

Tabela Z. 8 Obliczenie śladu węglowego i energii wbudowanej dla wyrobów budowlanych (fazy A1-A3) w budynku referencyjnym murowanym (WT2021).

Nazwa	Energia wbudowana [MJ]	Ślad węglowy [kg CO ₂]	Źródło danych
Beton	26561,53	3794,51	ICE 2.0
Beton komórkowy 500	114894,04	13455,81	EPD Xella
Beton komórkowy 500Z	12442,59	1098,67	EPD Xella
Beton P-W	5262,92	789,44	ICE 2.0
Beton/Teriva	22669,29	3238,47	Własne kalkulacje (Pierzchalski, 2018)
Dachówka	1856,37	187,16	obliczenia na podstawie EPD ITB No. 098/2019
Deski dębowe	2324,87	194,48	ICE 2.0 (bez sekwestracji)

ŚRODOWISKOWE ASPEKTY NOWOCZESNEGO BUDOWNICTWA DREWNIANEGO

Drewno konstrukcyjne	18821,11	1500,60	sosna C24 ICE 2.0 (gęstość wg PN-EN 338)
Drewno podłogowe	24800,63	2074,67	ICE 2.0 (bez sekwestracji)
Folia dachowa FPO-PP	456,54	13,85	EPD-BAU-20130189-IBCC-DE
Folia PE	31003,72	957,90	Oekobau.dat
Membrana paroprzepuszczalna Papa bitumiczna	10,37	0,37	EPD-DUP-20150235-IBE1-EN
Piasek	180,10	2,71	GlobalEPD-IntEPD S-P-00768
Płyta GK	5682,52	448,62	OEKOBAU 1.2.01 Sand 0/2 (A1-A3)
Płyta OSB	6674,68	358,95	Oekobau.dat 1.3.13 Gipskartonplatte (imprägniert) (A1-A3);
Podsypka cement-piask.	2582,64	170,45	ICE 2.0
Polistyren ekstrudowany XPS	7424,10	1113,62	ICS 2.0
Stal konstrukcyjna	27412,12	920,66	A1/Oekobau.dat 12.3.01 XPS
Styropian EPS 032	62883,61	4812,02	Oekobau 4.1.03 Stahlprofil
Styropian EPS 038	32286,04	1103,96	EPD-EUM-20160273-IBG1-EN
Tynk cementowo-wapienny	9720,92	360,97	na podstawie ECO-EPS-00010101-1106
Tynk mineralny	11801,92	1866,85	ICE 2.0
Węlna mineralna	8878,88	302,58	EPD-STO-2011331-E
Żelbet belki	54191,42	4842,97	ITB EPD
Żelbet płyta	28685,56	3026,31	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet słup	72641,23	8445,33	ICE, Pierzchalski 2018
SUMA	6663,35	679,80	ICE, Pierzchalski 2018
	598813,07	55761,71	

Tabela Z. 9. Obliczenie śladu węglowego i energii wbudowanej dla wyrobów budowlanych (fazy A1-A3) w budynku referencyjnym murywanym (WT2021) z uwzględnieniem sekwestracji dwutlenku węgla w wyrobach drewnianych i drewnopochodnych

Nazwa	Energia wbudowana [MJ]	Ślad węglowy [kg CO ₂]	Źródło danych
Beton	26561,53	3794,51	ICE 2.0
Beton komórkowy 500	114894,04	13455,81	EPD Xella
Beton komórkowy 500Z	12442,59	1098,67	EPD Xella
Beton P-W	5262,92	789,44	ICE 2.0
Beton/Teriva	22669,29	3238,47	Własne kalkulacje (Pierzchalski, 2018)
Dachówka	1856,37	187,16	obliczenia na podstawie EPD ITB No. 098/2019
Deski dębowe	2324,87	194,48	ICE 2.0 (bez sekwestracji)
Drewno konstrukcyjne	18821,11	-3675,21	sosna C24 ICE 2.0 (gęstość wg PN-EN 338) / Oekobau.dat
Drewno podłogowe	24800,63	-2305,982	ICE 2.0 (bez sekwestracji) / Oekobau.dat
Folia dachowa FPO-PP	456,54	13,85	EPD-BAU-20130189-IBCC-DE
Folia PE	31003,72	957,90	Oekobau.dat
Membrana paroprzepuszczalna Papa bitumiczna	10,37	0,37	EPD-DUP-20150235-IBE1-EN
Piasek	180,10	2,71	GlobalEPD-IntEPD S-P-00768
	5682,52	448,62	OEKOBAU 1.2.01 Sand 0/2 (A1-A3)

ŚRODOWISKOWE ASPEKTY NOWOCZESNEGO BUDOWNICTWA DREWNIANEGO

Płyta GK	6674,68	358,95	Oekobau.dat 1.3.13 Gipskartonplatte (imprägniert) (A1-A3);
Płyta OSB	2582,64	-265,15	ICE 2.0 / Oekobau.dat
Podsypka cement-piask.	7424,10	1113,62	ICS 2.0
Polistyren ekstrudowany XPS	27412,12	920,66	A1/Oekobau.dat 12.3.01 XPS
Stal konstrukcyjna	62883,61	4812,02	Oekobau 4.1.03 Stahlprofil
Styropian EPS 032	32286,04	1103,96	EPD-EUM-20160273-IBG1-EN
Styropian EPS 038	9720,92	360,97	na podstawie ECO-EPS-00010101-1106
Tynk cementowo-wapienny	11801,92	1866,85	ICE 2.0
Tynk mineralny	8878,88	302,58	EPD-STO-2011331-E
Wełna mineralna	54191,42	4842,97	ITB EPD
Żelbet belki	28685,56	3026,31	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet płyta	72641,23	8445,33	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet słup	6663,35	679,80	ICE, Pierzchalski 2018
SUMA	598813,07	45769,67	

Tabela Z. 10 Obliczenie śladu węglowego i energii wbudowanej dla wyrobów budowlanych w budynku w konstrukcji drewnianej WT2021 (bez wychwytu CO₂ przez drzewa)

Nazwa	Energia wbudowana [MJ]	Ślad węglowy [kg CO ₂]	Opis
Beton	14460,99	2065,86	Baza ICE 2.0
Beton P-W	5092,82	763,92	ICE 2.0 klasa B-7,5-10
Dachówka	52958,59	5339,32	Obliczenia na podstawie EPD ITB No. 098/2019
Drewno konstrukcyjne	59631,70	4754,37	sosna C24 ICE 2.0 (gęstość wg PN-EN 338)
Drewno podłogowe	26037,32	2178,13	ICE 2.0 (bez sekwestracji)
Folia PE	30463,71	941,21	Oekobau.dat
Membrana paroprzepuszczalna	10,34	0,37	EPD-DUP-20150235-IBE1-EN
Papa bitumiczna	181,17	2,72	GlobalEPD-IntEPD S-P-00768
Piasek	5551,76	438,30	OEKOBAU 1.2.01 Sand 0/2 (A1-A3)
Płyta GK	37060,62	1993,04	Oekobau.dat 1.3.13 Gipskartonplatte (imprägniert) (A1-A3);
Płyta OSB	88317,47	5828,95	ICE 2.0
Podsypka cem-piask	7439,52	1115,93	ICE 2.0
Polistyren ekstrudowany XPS	26798,93	900,07	A1/Oekobau.dat 12.3.01 XPS
Styropian EPS 038	6125,13	227,45	na podstawie ECO-EPS-00010101-1106
Tynk mineralny	8704,42	296,64	EPD-STO-2011331-E
Wełna mineralna skalna	20411,72	1824,15	ITB EPD (ISOVER)
Wełna mineralna szklana	23167,38	1936,29	ITB EPD (ISOVER)
Żelbet belka	440,60	46,48	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet płyta	68213,92	7930,61	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet słup	6753,85	689,03	ICE, Pierzchalski 2018
SUMA	487821,95	39272,81	

ŚRODOWISKOWE ASPEKTY NOWOCZESNEGO BUDOWNICTWA DREWNIANEGO

Tabela Z. 11 Obliczenie śladu węglowego i energii wbudowanej dla wyrobów budowlanych w budynku w konstrukcji drewnianej WT2021 (uwzględniająca wyczynyt CO₂ i sekwestrację w wyrobach drewnianych i drewnopochodnych)

Nazwa	Energia wbudowana [MJ]	Ślad węglowy [kg CO ₂]	Opis
Beton	14460,99	2065,86	Baza ICE 2.0
Beton P-W	5092,82	763,92	ICE 2.0 klasa B-7,5-10
Dachówka	52958,59	5339,32	Obliczenia na podstawie EPD ITB No. 098/2019
Drewno konstrukcyjne	59631,70	-11644,27	sosna C24 ICE 2.0 (gęstość wg PN-EN 338) / Oekobau.dat
Drewno podłogowe	26037,32	-2420,97	ICE 2.0 (bez sekwestracji) / Oekobau.dat
Folia PE	30463,71	941,21	Oekobau.dat
Membrana paroprzepuszczalna	10,34	0,37	EPD-DUP-20150235-IBE1-EN
Papa bitumiczna	181,17	2,72	GlobalEPD-IntEPD S-P-00768
Piasek	5551,76	438,3	OEKOBAU 1.2.01 Sand 0/2 (A1-A3)
Płyta GK	37060,62	1993,04	Oekobau.dat 1.3.13 Gipskartonplatte (imprägniert) (A1-A3);
Płyta OSB	88317,47	-9067,261	ICE 2.0 / Oekobau.dat
Podsypka cem-piasek	7439,52	1115,93	ICE 2.0
Polistyren ekstrudowany XPS	26798,93	900,07	A1/Oekobau.dat 12.3.01 XPS
Styropian EPS 038	6125,13	227,45	na podstawie ECO-EPS-00010101-1106
Tynk mineralny	8704,42	296,64	EPD-STO-2011331-E
Wełna mineralna skalna	20411,72	1824,15	ITB EPD (ISOVER)
Wełna mineralna szklana	23167,38	1936,29	ITB EPD (ISOVER)
Żelbet belka	440,60	46,48	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet płyta	68213,92	7930,61	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet słup	6753,85	689,03	ICE, Pierzchalski 2018
SUMA	487821,95	3378,889	

Procesy budowlane wyliczono na podstawie zestawienia maszynogodzin poszczególnych maszyn budowlanych w kosztorysach budowlanych.

Tabela Z. 12 Zestawienie procesów budowlanych budynku murowanego

Opis	m-g	Zużycie energii elektrycznej [kWh]	Zużycie oleju napędowego [dm ³]	Zużycie benzyny [dm ³]	Ślad węglowy [kg CO ₂]	Energia wbudowana [MJ]
ciągnik kołowy 75-85 KM	2,28		20,48		54,62	737,10
agregat tynkarski	16,69	102,14			81,51	306,43
gietarka do prętów	17,09	21,87			17,45	65,62
koparko-ładowarka na podwoziu ciągnika kołowego	4,18		25,10		66,96	903,64
piła	17,16	23,17			18,49	69,50
pompa do betonu na samochodzie	0,10		1,59		4,24	57,28
przenośne maszyny do zszywania	0,73	0,87			0,70	2,62
samochód samowyładowczy 15-20 t	7,79		38,96		103,92	1402,43



ŚRODOWISKOWE ASPEKTY NOWOCZESNEGO BUDOWNICTWA DREWNIANEGO

spawarka elektryczna wirująca 500 A	18,24	240,77			192,13	722,30
środek transportowy	31,22		156,12		416,46	5620,21
ubijak spalinowy	1,51			2,72	5,46	78,82
wciągarka mechaniczna z napędem elektrycznym 5-10 t	91,48	329,32			262,80	987,97
wibrator	0,15	0,35			0,28	1,04
zagęszczarka wibracyjna spalinowa 100m ³ /h	0,87			2,61	5,24	75,64
żuraw samochodowy 5-6 t	3,54		31,82		84,89	1145,66
SUMA		718,49	274,06	5,33	1315,16	12176,26

Tabela Z. 13 Zestawienie procesów budowlanych budynku drewnianego

Opis	m-g	Zużycie energii elektrycznej [kWh]	Zużycie oleju napędowego [dm ³]	Zużycie benzyny [dm ³]	Ślad węglowy [kg CO ₂]	Energia wbudowana [MJ]
ciągnik kołowy 75-85 KM	0,39		3,53		9,42	127,14
gietarka do prętów	15,68	20,07			16,01	60,20
koparko-ładowarka na podwoziu ciągnika kołowego	4,18		25,10		66,96	903,64
piła	18,94	25,57			20,41	76,72
pompa do betonu na samochodzie	2,66		40,77		108,77	1467,83
przenośne maszyny do zszywania	14,04	16,85			13,45	50,56
samochód samowyładowczy 15-20 t	0,73		3,64		9,71	130,99
spawarka elektryczna wirująca 500 A	5,91	77,99			62,24	233,97
środek transportowy	4,63		23,17		61,82	834,26
ubijak spalinowy	1,51			2,72	5,46	78,82
wciągarka mechaniczna z napędem elektrycznym 5-10 t	67,50	243,01			193,92	729,03
wibrator	0,15	0,35			0,28	1,04
zagęszczarka wibracyjna spalinowa 100 m ³ /h	0,87			2,61	5,24	75,64
żuraw samochodowy 5-6 t	1,38		12,38		33,04	445,86
SUMA		383,84	108,60	5,33	606,72	5215,68

Tabela Z. 14 Zestawienie energii wbudowanej oraz ślad węglowy dla transportu określono na podstawie danych KOBiZE i IOŚ-PIB, 2016

	Ilość ON [dm ³]	Energia wbudowana [MJ]	Ślad węglowy [kg CO ₂]
Budynek murowany	423	15228	1128,40
Budynek drewniany	271	9756	722,92

ŚRODOWISKOWE ASPEKTY NOWOCZESNEGO BUDOWNICTWA DREWNIANEGO

Tabela Z. 15 Zestawienie zużycia nośników energii w trakcie eksploatacji budynku (w ciągu roku oraz w cyklu 50 lat)

	Energia elektryczna Ilość [kWh] rocznie / cykl 50 lat [kWh]	Gaz ziemny Ilość [kWh] rocznie, cykl 50 lat [kWh]
Budynek murowany	281,6 / 14080	6801,8 / 340 090
Budynek drewniany	273,2 / 13 660	6987,3 / 349 365

Tabela Z.16 przedstawia zestawienie energii wbudowanej związanej z eksploatacją budynku. Dla wyliczenia energii wbudowanej przyjęto krajowe współczynniki nakładu na nieodnawialną energię pierwotną. Zestawienie śladu węglowego związanego z eksploatacją budynku przedstawia Tabela 3.20.

Tabela Z. 16 Zestawienie energii wbudowanej (MJ) nośników energii w cyklu 50 lat eksploatacji budynku w standardzie WT2021.

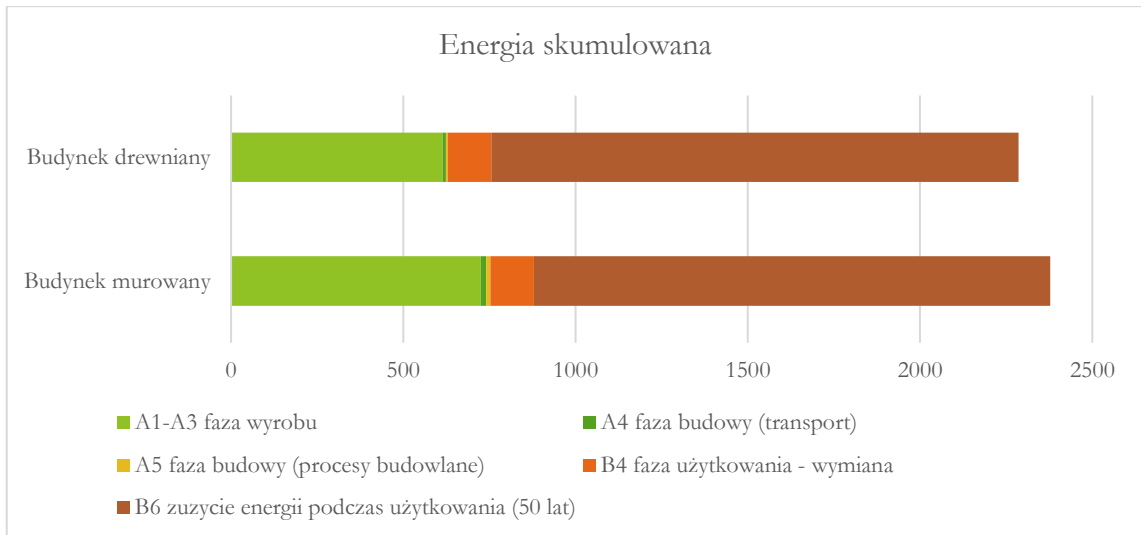
	Energia elektryczna Ilość [kWh] / [MJ]	Gaz ziemny Ilość [kWh] / [MJ]	Łącznie MJ
Budynek murowany	42240 / 152 064	374099 / 1 346 756	1 498 820
Budynek drewniany	40980 / 147 528	384302 / 1 383 487	1 531 015

Tabela Z. 17 Zestawienie śladu węglowego związanych z eksploatacją budynku w standardzie WT2021.

	Energia elektryczna [kg CO ₂]	Gaz ziemny [kg CO ₂]	Łącznie [kg CO ₂]
Budynek murowany	33708	74820	108528
Budynek drewniany	32702	76860	109562

Tabela Z. 18 Zestawienie energii skumulowanej [GJ] budynków w standardzie WT2021.

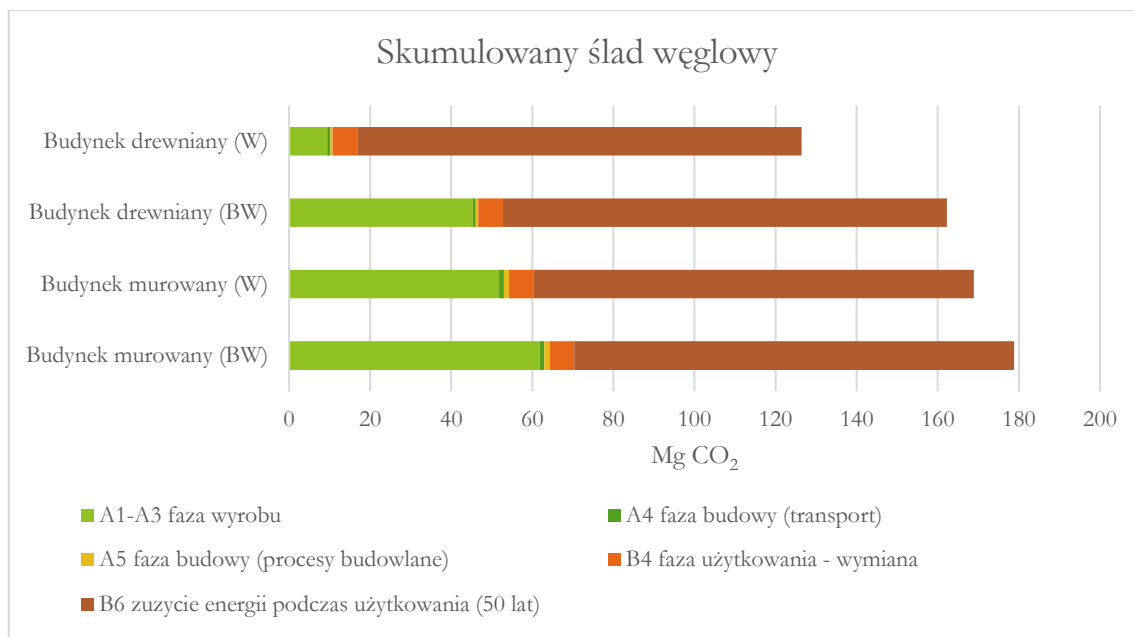
	A1-A3 faza wyrobu	A4 faza budowy (transport)	A5 faza budowy (procesy budowlane)	B4 faza użytkowania - wymiana	B6 zużycie energii podczas użytkowania w cyklu 50 lat	SUMA
Budynek murowany	725,064	15,228	12,176	126,251	1498,82	2251,288
Budynek drewniany	614,073	9,756	5,216	126,251	1531,015	2160,06



Rysunek Z. 7 Porównanie energii skumulowanej fazy A1-A3, A4, A5, B4 oraz B6 dla budynku murowanego i drewnianego w standardzie WT2021. W – analiza uwzględniająca sekwestrację dwutlenku węgla w wyrobach drewnianych lub drewnopochodnych, BW – analiza nie uwzględniająca sekwestracji dwutlenku węgla

Tabela Z. 19 Zestawienie skumulowanego śladu węglowego [Mg CO₂] budynków w standardzie WT2021.

	A1-A3 faza wyrobu	A4 faza budowy (transport)	A5 faza budowy (procesy budowlane)	B4 faza użytkowania - wymiana	B6 zużycie energii podczas użytkowania w cyklu 50 lat	SUMA
Budynek murowany (BW)	61,82	1,13	1,32	6,06	108,53	172,79
Budynek murowany (W)	51,83	1,13	1,32	6,06	108,53	168,86
Budynek drewniany (BW)	45,33	0,72	0,61	6,06	109,56	156,23
Budynek drewniany (W)	9,44	0,72	0,61	6,06	109,56	126,39



Rysunek Z. 8 Porównanie skumulowanego śladu węglowego fazy A1-A3, A4, A5, B4 oraz B6 dla budynku murowanego i drewnianego w standardzie WT2021. W – analiza uwzględniająca sekwestrację dwutlenku węgla w wyrobach drewnianych lub drewnopochodnych, BW – analiza nie uwzględniająca sekwestracji dwutlenku węgla

Z-2.5.2. Budynki w standardzie pasywnym

Tabela Z. 20. Zestawienie wyrobów budowlanych użytych w budynku murowanym w standardzie pasywnym.

Nazwa	Objętość [m ³]
Beton	15,778
Beton komórkowy 500	56,413
Beton komórkowy 500Z (nadproża systemowe zbrojone)	1,453
Beton P-W	4,386
Beton/Teriva	16,867
Dachówka	0,092
Deski dębowe	0,316
Drewno konstrukcyjne	6,059
Drewno podłogowe	3,321
Folia dachowa FPO-PP	0,009
Folia PE	0,433
Membrana paroprzepuszczalna	1,313
Papa bitumiczna	0,381
Piasek	32,159
Płyta GK	1,865
Płyta OSB	0,265
Podsypka cem-piask	6,186
Polistyren ekstrudowany XPS	8,772
Stal konstrukcyjna	0,211
Styropian EPS 032	31,514
Styropian EPS 038	13,341
Tynk cementowo-wapienny	6,741

ŚRODOWISKOWE ASPEKTY NOWOCZESNEGO BUDOWNICTWA DREWNIANEGO

Tynk mineralny	0,844
Wełna mineralna	30,622
Żelbet belka	6,419
Żelbet płyta	23,217
Żelbet słup	1,296

Murowany bez wychwytu

Tabela Z. 21. Zestawienie energii wbudowanej (MJ) i śladu węglowego (kg CO₂) dla użytych wyrobów budowlanych w budynku murowanym pasywnym. Fazy cyklu życia A1-A3. Obliczenia nie uwzględniają sekwestracji dwutlenku węgla.

Nazwa	Energia wbudowana [MJ]	Ślad węglowy [kg CO ₂]	Opis
Beton	26507,239	3786,748	Baza ICE 2.0
Beton komórkowy 500	115358,92	13510,25	EPD Xella
Beton komórkowy 500Z	12442,592	1098,669	EPD Xella
Beton P-W	5262,924	789,439	ICE 2.0 klasa B-7,5-10
Beton/Teriva	22669,289	3238,47	Własne kalkulacje (Pierzchalski, 2018)
Dachówka	1866,606	188,193	obliczenia na podstawie EPD ITB No. 098/2019
Deski dębowe	2324,874	194,478	ICE 2.0 (bez sekwestracji)
Drewno konstrukcyjne	18877,776	1505,117	sosna C24 ICE 2.0 (gęstość wg PN-EN 338)
Drewno podłogowe	24764,789	2071,67	ICE 2.0 (bez sekwestracji)
Folia dachowa FPO-PP	456,543	13,85	EPD-BAU-20130189-IBCC-DE
Folia PE	31105,957	961,057	Oekobau.dat
Membrana paroprzepuszczalna	10,431	0,371	EPD-DUP-20150235-IBE1-EN
Papa bitumiczna	200,162	3,007	GlobalEPD-IntEPD S-P-00768
Piasek	5682,517	448,62	OEKOBAU 1.2.01 Sand 0/2 (A1-A3)
Płyta GK	6719,308	361,348	Oekobau.dat 1.3.13 Gipskartonplatte (imprägniert) (A1-A3);
Płyta OSB	2498,491	164,901	ICE 2.0
Podsypka cem-piask	7424,103	1113,615	ICS 2.0
Polistyren ekstrudowany XPS	27412,115	920,661	A1/Oekobau.dat 12.3.01 XPS
Stal konstrukcyjna	62883,607	4812,019	Oekobau 4.1.03 Stahlprofil
Styropian EPS 032	43438,174	1485,285	EPD-EUM-20160273-IBG1-EN
Styropian EPS 038	15957,445	592,55	na podstawie ECO-EPS-00010101-1106
Tynk cementowo-wapienny	11866,435	1877,056	ICE 2.0
Tynk mineralny	8898,723	303,258	EPD-STO-2011331-E
Wełna mineralna	55454,068	4955,813	ITB EPD
Żelbet belka	28685,559	3026,311	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet płyta	72557,509	8435,594	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet słup	6663,345	679,8	ICE, Pierzchalski 2018
	617989,501	56538,15	

Murowany z wychwytem

ŚRODOWISKOWE ASPEKTY NOWOCZESNEGO BUDOWNICTWA DREWNIANEGO

Tabela Z. 22. Zestawienie energii wbudowanej (MJ) i śladu węglowego (kg CO₂) dla użytych wyrobów budowlanych w budynku murywanym pasywnym. Fazy cyklu życia A1-A3. W obliczeniach uwzględniono sekwestrację dwutlenku węgla.

Nazwa	Energia wbudowana [MJ]	Ślad węglowy [kg CO ₂]	Opis
Beton	26507,239	3786,748	Baza ICE 2.0
Beton komórkowy 500	115358,92	13510,25	EPD Xella
Beton komórkowy 500Z	12442,592	1098,669	EPD Xella
Beton P-W	5262,924	789,439	ICE 2.0 klasa B-7,5-10
Beton/Teriva	22669,289	3238,47	Własne kalkulacje (Pierzchalski, 2018)
Dachówka	1866,606	188,193	obliczenia na podstawie EPD ITB No. 098/2019
Deski dębowe	2324,874	194,478	ICE 2.0 (bez sekwestracji)
Drewno konstrukcyjne	18877,776	-3686,27	sosna C24 ICE 2.0 (gęstość wg PN-EN 338) / Oekobau.dat
Drewno podłogowe	24764,789	2071,67	ICE 2.0 / Oekobau.dat
Folia dachowa FPO-PP	456,543	13,85	EPD-BAU-20130189-IBCC-DE
Folia PE	31105,957	961,057	Oekobau.dat
Membrana paroprzepuszczalna	10,431	0,371	EPD-DUP-20150235-IBE1-EN
Papa bitumiczna	200,162	3,007	GlobalEPD-IntEPD S-P-00768
Piasek	5682,517	448,62	OEKOBAU 1.2.01 Sand 0/2 (A1-A3)
Płyta GK	6719,308	361,348	Oekobau.dat 1.3.13 Gipskartonplatte (imprägniert) (A1-A3);
Płyta OSB	2498,491	-256,51	ICE 2.0 / Oekobau.dat
Podsypka cem-piasek	7424,103	1113,615	ICS 2.0
Polistyren ekstrudowany XPS	27412,115	920,661	A1/Oekobau.dat 12.3.01 XPS
Stal konstrukcyjna	62883,607	4812,019	Oekobau 4.1.03 Stahlprofil
Styropian EPS 032	43438,174	1485,285	EPD-EUM-20160273-IBG1-EN
Styropian EPS 038	15957,445	592,55	na podstawie ECO-EPS-00010101-1106
Tynk cementowo-wapienny	11866,435	1877,056	ICE 2.0
Tynk mineralny	8898,723	303,258	EPD-STO-2011331-E
Włna mineralna	55454,068	4955,813	ITB EPD
Żelbet belka	28685,559	3026,311	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet płyta	72557,509	8435,594	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet słup	6663,345	679,8	ICE, Pierzchalski 2018
	617989,501	46551,03	

Standard pasywny drewniany

Tabela Z. 23. Zestawienie wyrobów budowlanych użytych w budynku w konstrukcji lekkiego szkieletu drewnianego w standardzie pasywnym.

Nazwa	Objętość [m ³]
Beton	8,603
Beton P-W	4,244
Dachówka	2,631
Drewno konstrukcyjne	19,124
Drewno podłogowe	3,503

ŚRODOWISKOWE ASPEKTY NOWOCZESNEGO BUDOWNICTWA DREWNIANEGO

Folia PE	0,421
Membrana paroprzepuszczalna	1,302
Papa bitumiczna	0,369
Piasek	31,418
Płyta GK	10,297
Płyta OSB	9,347
Podsypka cem-piask	6,199
Polistyren ekstrudowany XPS	8,574
Styropian EPS 038	10,19
Tynk mineralny	1,052
Wełna mineralna skalna	20,985
Wełna mineralna szklana	67,459
Żelbet belka	0,099
Żelbet płyta	21,819
Żelbet słup	1,311

Tabela Z. 24 Obliczenie śladu węglowego i energii wbudowanej dla wyrobów budowlanych w budynku w konstrukcji drewnianej – lekkiej szkielet drewniany (bez wychwytu CO₂ przez drzewa).

Nazwa	Energia wbudowana [MJ]	Ślad węglowy [kg CO ₂]	Opis
Beton	14460,99	2065,86	Baza ICE 2.0
Beton P-W	5092,82	763,92	ICE 2.0 klasa B-7,5-10
Dachówka	52958,59	5339,32	Obliczenia na podstawie EPD ITB No. 098/2019
Drewno konstrukcyjne	59631,70	4754,37	sosna C24 ICE 2.0 (gęstość wg PN-EN 338)
Drewno podłogowe	26037,32	2178,13	ICE 2.0 (bez sekwestracji)
Folia PE	30463,71	941,21	Oekobau.dat
Membrana paroprzepuszczalna	10,34	0,37	EPD-DUP-20150235-IBE1-EN
Papa bitumiczna	181,17	2,72	GlobalEPD-IntEPD S-P-00768
Piasek	5551,76	438,30	OEKOBAU 1.2.01 Sand 0/2 (A1-A3)
Płyta GK	37060,62	1993,04	Oekobau.dat 1.3.13 Gipskartonplatte (imprägniert) (A1-A3);
Płyta OSB	88317,47	5828,95	ICE 2.0
Podsypka cem-piask	7439,52	1115,93	ICE 2.0
Polistyren ekstrudowany XPS	26798,93	900,07	A1/Oekobau.dat 12.3.01 XPS
Styropian EPS 038	12187,69	452,57	na podstawie ECO-EPS-00010101-1106
Tynk mineralny	11075,73	377,44	EPD-STO-2011331-E
Wełna mineralna skalna	38000,56	3396,03	ITB EPD (ISOVER)
Wełna mineralna szklana	23167,38	1936,29	ITB EPD (ISOVER)
Żelbet belka	440,60	46,48	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet płyta	68213,92	7930,61	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet słup	6753,85	689,03	ICE, Pierzchalski 2018
SUMA	513844,67	41150,64	

Tabela Z. 25 Obliczenie śladu węglowego i energii wbudowanej dla wyrobów budowlanych w budynku w konstrukcji drewnianej – szkielet drewniany (uwzględniająca wychwyty CO₂ i sekwestrację w wyrobach drewnianych i drewnopochodnych)

Nazwa	Energia wbudowana [MJ]	Ślad węglowy [kg CO ₂]	Opis
Beton	14460,99	2065,86	Baza ICE 2.0
Beton P-W	5092,82	763,92	ICE 2.0 klasa B-7,5-10
Dachówka	52958,59	5339,32	Obliczenia na podstawie EPD ITB No. 098/2019
Drewno konstrukcyjne	59631,70	-11 644,272	ICE 2.0 (energia) / NEPD-308-179-EN Epd-norge.no Zawiera 660 kg CO ₂ zasymilowanego
Drewno podłogowe	26037,32	-2 420,968	ICE 2.0. (energia) / OEKOBAU.DAT: 3.3.02 Wood / Wooden floor / Parquet (sekwestracja)
Folia PE	30463,71	941,21	Oekobau.dat
Membrana paroprzepuszczalna	10,34	0,37	EPD-DUP-20150235-IBE1-EN
Papa bitumiczna	181,17	2,72	GlobalEPD-IntEPD S-P-00768
Piasek	5551,76	438,30	OEKOBAU 1.2.01 Sand 0/2 (A1-A3)
Płyta GK	37060,62	1993,04	Oekobau.dat 1.3.13 Gipskartonplatte (imprägniert) (A1-A3);
Płyta OSB	88317,47	-9 067,261	ICE 2.0 (energia), Oekobaudat 3.2.04 OSB-Platte (sekwestracja)
Podsypka cempiaśk	7439,52	1115,93	ICE 2.0
Polistyren ekstrudowany XPS	26798,93	900,07	A1/Oekobau.dat 12.3.01 XPS
Styropian EPS 038	12187,69	452,57	na podstawie ECO-EPS-00010101-1106
Tynk mineralny	11075,73	377,44	EPD-STO-2011331-E
Wetna mineralna skalna	38000,56	3396,03	ITB EPD (ISOVER)
Wetna mineralna szklana	23167,38	1936,29	ITB EPD (ISOVER)
Żelbet belka	440,60	46,48	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet płyta	68213,92	7930,61	ICE, Pierzchalski 2018
Żelbet słup	6753,85	689,03	ICE, Pierzchalski 2018
SUMA	513844,67	5256,69	

Na podstawie symulacji charakterystyki energetycznej budynków obliczono zużycie energii w trakcie eksploatacji budynku w cyklu 50 lat. W obliczeniach uwzględniono energię końcową do ogrzewania i wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Tabela Z. 26 Zestawienie zużycia nośników energii w trakcie eksploatacji budynków pasywnych (w ciągu roku oraz w cyklu 50 lat)

	Energia elektryczna Ilość [kWh] rocznie / cykl 50 lat [kWh]	Gaz ziemny Ilość [kWh] rocznie, cykl 50 lat [kWh]
Budynek murowany pasywny	281,6 / 14080	5404,8 / 270 240
Budynek drewniany pasywny	273,2 / 13 660	5453,7 / 272 685

Tabela 3.19 przedstawia zestawienie energii wbudowanej związanej z eksploatacją budynku. Dla wyliczania energii wbudowanej przyjęto krajowe współczynniki nakładu na nieodnawialną energię

pierwotną. Zestawienie śladu węglowego związanego z eksploatacją budynku przedstawia Tabela 3.20.

Tabela Z. 27 Zestawienie energii wbudowanej nośników energii w cyklu 50 lat eksploatacji budynków pasywnych.

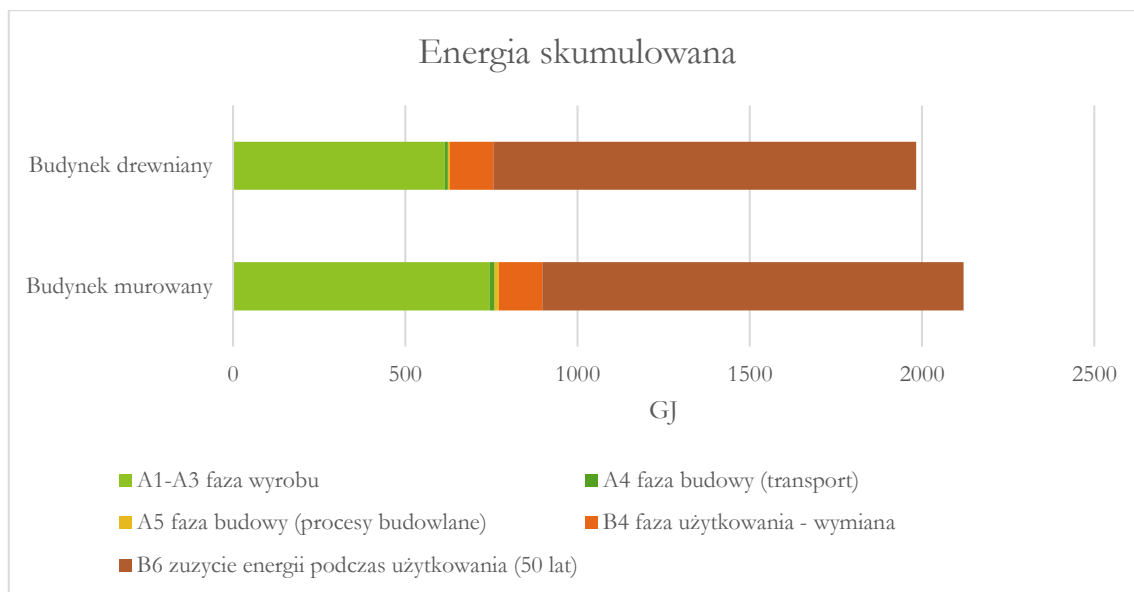
	Energia elektryczna Ilość [kWh] / [MJ]	Gaz ziemny Ilość [kWh] / [MJ]	Łącznie MJ
Budynek murowany pasywny	42 240 / 152 064	297 264 / 1 070 150	1 222 214
Budynek drewniany pasywny	40 980 / 147 528	299 954 / 1 079 833	1 227 361

Tabela Z. 28 Zestawienie śladu węglowego związanych z eksploatacją budynków w standardzie pasywnym.

	Energia elektryczna [kg CO ₂]	Gaz ziemny [kg CO ₂]	Łącznie [kg CO ₂]
Budynek murowany pasywny	33708	59453	93161
Budynek drewniany pasywny	32702	59991	92693

Tabela Z. 29 Zestawienie energii skumulowanej [GJ] dla budynku w standardzie pasywnym

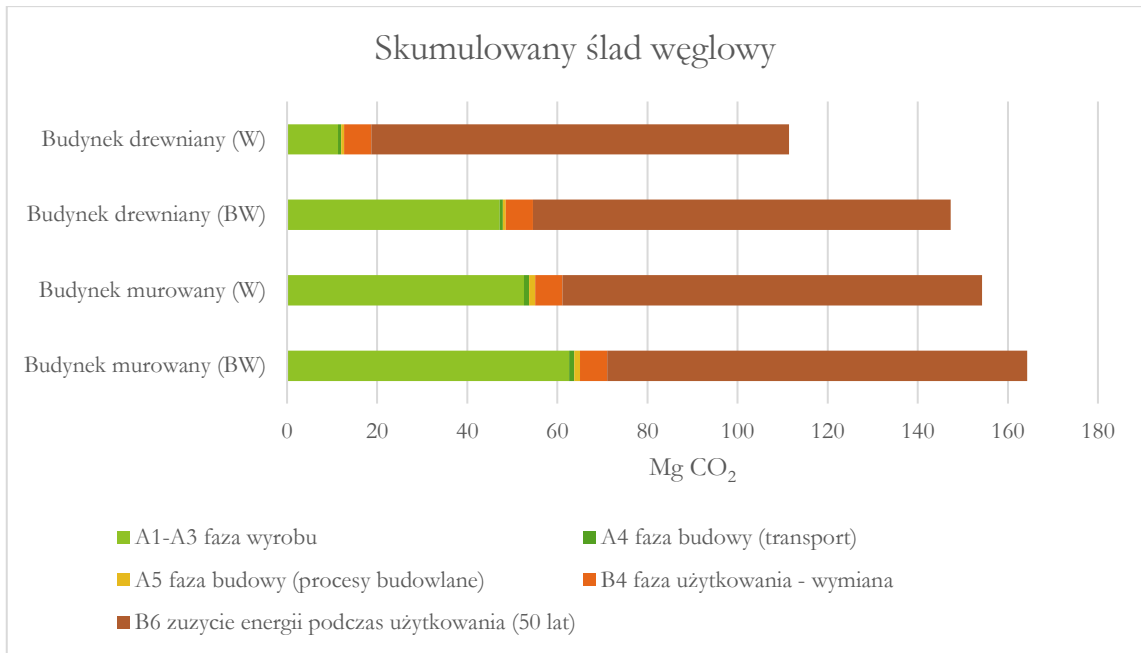
	A1-A3 faza wyrobu	A4 faza budowy (transport)	A5 faza budowy (procesy budowlane)	B4 faza użytkowania - wymiana	B6 zużycie energii podczas użytkowania w cyklu 50 lat	SUMA
Budynek murowany pasywny	744,241	15,228	12,176	126,251	1222,21	2120,106
Budynek drewniany pasywny	614,073	9,756	5,216	126,251	1227,36	1982,656



Rysunek Z. 9. Porównanie energii skumulowanej fazy A1-A3, A4, A5, B4 oraz B6 dla budynku murowanego i drewnianego w standardzie pasywnym. W – analiza uwzględniająca sekwestrację dwutlenku węgla w wyrobach drewnianych lub drewnopochodnych, BW – analiza nie uwzględniająca sekwestracji dwutlenku węgla

Tabela Z. 30 Zestawienie skumulowanego śladu węglowego budynków w standardzie pasywnym [Mg CO₂].

	A1-A3 faza wyrobu	A4 faza budowy (transport)	A5 faza budowy (procesy budowlane)	B4 faza użytkowania - wymiana	B6 zużycie energii podczas użytkowania w cyklu 50 lat	SUMA
Budynek murowany (BW)	62,60	1,13	1,32	6,06	93,16	164,26
Budynek murowany (W)	52,61	1,13	1,32	6,06	93,16	154,28
Budynek drewniany (BW)	47,21	0,72	0,61	6,06	92,69	147,30
Budynek drewniany (W)	11,32	0,72	0,61	6,06	92,69	111,40



Rysunek Z. 10. Porównanie skumulowanego śladu węglowego fazy A1-A3, A4, A5, B4 oraz B6 dla budynku murowanego i drewnianego w standardzie pasywnym. Wartości podano w Mg CO₂. W – analiza uwzględniająca sekwestrację dwutlenku węgla w wyrobach drewnianych lub drewnopochodnych, BW – analiza nie uwzględniająca sekwestracji dwutlenku węgla