

Analiza energetyczna, wilgotnościowa i kosztowa budynku wykonanego w technologii CLT i technologii tradycyjnej



mgr inż.
ANDRZEJ OSSOWSKI
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej
i Środowiska (absolwent)
ORCID: 0009-0004-1662-865X



dr inż.
MARCIN SZCZEPAŃSKI
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej
i Środowiska
ORCID: 0000-0001-6049-2391

Celem analizy porównawczej było określenie wpływu zastosowania drewna klejonego krzyżowo CLT na wydajność energetyczną, bezpieczeństwo przed szkodliwym działaniem wilgoci oraz kosztu budowy budynku wielorodzinnego w porównaniu z zastosowaniem tradycyjnych metod budowlanych.

Wzrost światowej popularności drewna klejonego krzyżowo CLT jako materiału mogącego być bardziej proekologiczną alternatywą dla tradycyjnych materiałów budowlanych [1] wzbudza w ostatnich latach sporą ekscytację zarówno wśród osób dążących do ograniczenia emisyjności dwutlenku węgla branży budowlanej, jak i pasjonatów nowoczesnego budownictwa drewnianego. W Polsce budownictwo drewniane wciąż jednak pozostaje technologią niszową, kojarzoną z domkami letniskowymi i konstrukcjami dachów domów jednorodzinnych. Warto jednak odkrywać potencjał drzemiący w tej technologii, wykorzystywanej w innych krajach Europy i świata do budowy imponujących obiektów użyteczności publicznej, wielorodzinnych budynków mieszkalnych, wyjątkowych przekryć dachowych o skomplikowanej geometrii, a także zachwycających obiektów mostowych.

Drewno klejone krzyżowo

Drewno klejone krzyżowo to panele złożone z nieparzystej liczby warstw desek ułożonych do siebie pod kątem prostym, połączonych wytrzymałym klejem, aby stworzyć wielkowymiarowe elementy o wysokim stosunku wytrzymałości do ciężaru własnego. Dzięki dobrym parametrom wytrzymałościowym zarówno w głównym kierunku włókien (zazwyczaj zgodnym z kierunkiem włókien desek warstw zewnętrznych), jak i w kierunku do niego prostopadłym, CLT jest wykorzystywane jako budulec ścian, stropów i wielu innych płytowych elementów konstrukcyjnych pracujących jedno- i dwukierunkowo.

Dzięki dynamicznemu rozwojowi technologii CLT w ostatnich latach wzrasta liczba

realizacji wielorodzinnych budynków mieszkalnych wykorzystujących zalety drewna klejonego krzyżowo. Jednym z nich jest osmiopiętrowy obiekt mieszczący 120 mieszkań komunalnych w Londynie – Bridport House. Zrealizowany mimo wysokich wymagań inwestora i wrażliwej lokalizacji budynku, które wymagały ścisłego balansu pomiędzy zwiększeniem liczby mieszkań w okolicy a uniknięciem znaczącego zwiększenia obciążenia działającego w poziomie posadowienia budynku, pod którym przeprowadzone były ważne elementy sieci kanalizacyjnej miasta. Innym ważnym kamieniem milowym w procesie rozwoju budownictwa z drewna masywnego jest projekt Limnologen w szwedzkim mieście Växjö. Budynek o ośmiu kondygnacjach powstał przy współpracy lokalnych przedstawicieli przemysłu drzewnego oraz Uniwersytetu Växjö i cechuje się doskonałą izolacyjnością akustyczną oraz termiczną.

Metodyka

Istnieje wiele kryteriów porównawczych, którymi można się posłużyć, aby ocenić stosowność wykorzystania paneli z drewna klejonego krzyżowo jako alternatywy dla tradycyjnych materiałów stosowanych w wielorodzinnym budownictwie mieszkalnym. W tym opracowaniu skupiono się na analizie wydajności energetycznej, bezpieczeństwie konstrukcji przed szkodliwym działaniem wilgoci oraz koszcie budowy obiektu. Obiektem, który posłużył do przeprowadzenia porównania obu technologii w tym zakresie, jest czterokondygnacyjny budynek wielorodzinny mieszczący mieszkania komunalne w gdyńskiej dzielnicy Oksywie. Budynek został wykonany w 2021 roku w technologii tradycyjnej,

stawiając na żelbetowe fundamenty, stropy, balkony, nadproża i filary oraz wykorzystując jako materiał ścian mur z bloczków silikatowych.

Konstrukcję przekształcono do technologii CLT w zakresie obejmującym ściany, stropy międzykondygnacyjne, stropodach i balkony. Elementy budynku takie jak fundamenty, posadzki na gruncie, przeszklenia, systemy wentylacji i ogrzewania, pozostawiono analogiczne jak w wariantcie w technologii tradycyjnej, aby wyizolować wpływ części budynku wykonanej z CLT na wyniki symulacji energetycznej. Korzystając z tablic do wstępnego wymiarowania konstrukcji z CLT, producenta drewna klejonego krzyżowo – firmy KLH, przyjęto przekroje paneli drewnianych dla poszczególnych części konstrukcji. Na ściany przyjęto trójwarstwowe panele o grubości 80 mm, na stropy międzykondygnacyjne panele siedmiowarstwowe o grubości 220 mm, zaś na stropodachu zastosowano panele pięciowarstwowe grubości 200 mm.

Analiza energetyczna

Wpływ na zapotrzebowanie budynku na energię grzewczą mają jego charakter użytkowania, lokalizacja i orientacja względem kierunków świata oraz parametry termiczne przegród. Te ostatnie są ściśle związane z zastosowaną technologią budowlaną. Parametry termiczne można podzielić na statyczne i dynamiczne. Lekkie konstrukcje szkieletowe z drewna, które w pustych przestrzeniach między elementami nośnymi wypełnione są materiałami izolacyjnymi, np. wełną mineralną, cechują się bardzo dobrymi parametrami statycznymi. Jednak w związku z ich relatywnie niską gęstością nie mają

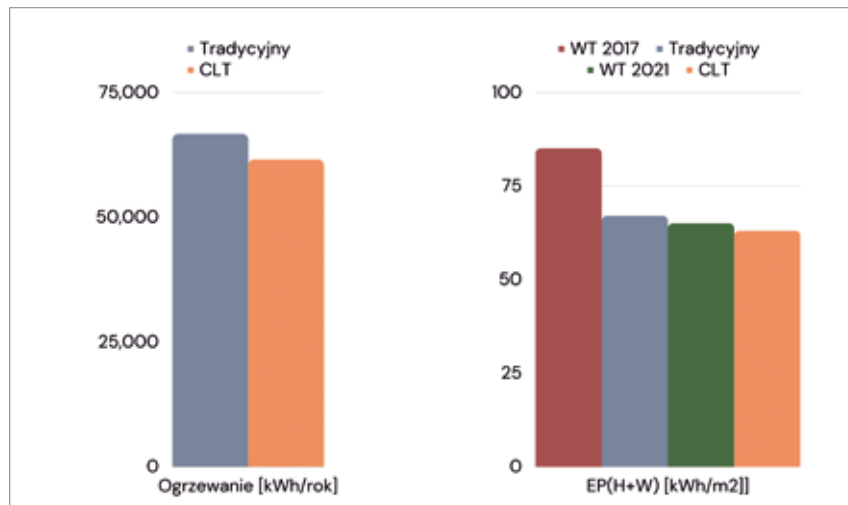
wysokiej pojemności cieplnej, wpływającej na polepszenie parametrów dynamicznych. Pod tym względem tradycyjne materiały budowlane, jak mury ceramiczne i elementy żelbetowe, mają zdecydowaną przewagę. Przegrody w technologii CLT dzięki masywnej charakterystyce cechują się dobrymi parametrami dynamicznymi przy utrzymaniu wyśmienitych parametrów statycznych lekkich konstrukcji szkieletowych.

Przeprowadzona analiza energetyczna pozwoliła zaobserwować, jak parametry termiczne przegród dwóch technologii wpływają na zapotrzebowanie budynku na energię grzewczą. Do programu IDA ICE wprowadzono model 3D budynku stworzony w Revicie oraz wprowadzono dane klimatyczne. Następnie skonfigurowano systemy wentylacji i ogrzewania zgodnie z oryginalnym projektem budynku tradycyjnego. W kolejnym kroku rozdzielono model budynku tradycyjnego i CLT, wprowadzając do każdego z nich osobne dane materiałowe zgodnie z układem warstw przyjętych przegród. Roczna symulacja energetyczna wykazała, że budynek wykonany z CLT miał o 5% niższe zapotrzebowanie na energię grzewczą niż budynek tradycyjny. Budynek z drewna spełnił również wymaganą wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną dla celów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej według obowiązujących od końca 2021 warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki [2]. Wynik uzyskany przez budynek wykonany w technologii tradycyjnej nie był wystarczający, aby spełnić aktualne wymagania, jednak był on wystarczający do spełnienia wymagań obowiązujących w czasie oddania budynku do użytku. Wyniki symulacji przedstawiono w formie wykresów na rys. 1.

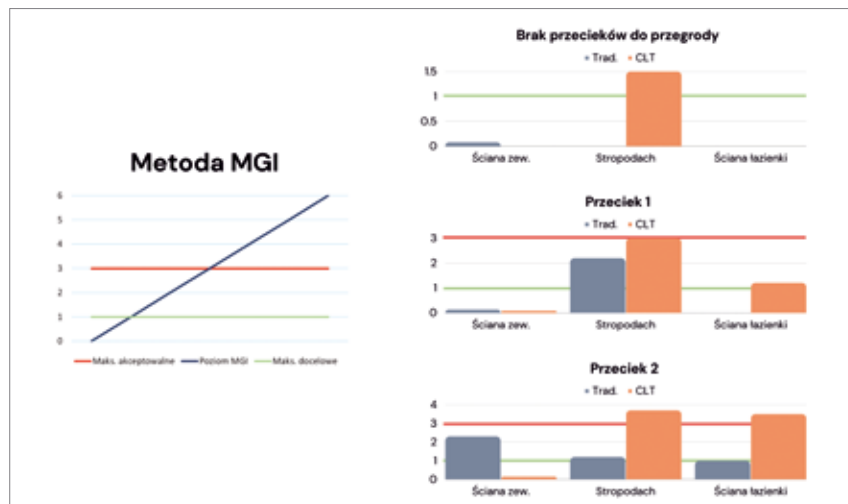
Analiza wilgotnościowa

Kolejnym kryterium porównawczym obu technologii była analiza wilgotnościowa, którą przeprowadzono w oparciu o siedmiostopniową skalę ryzyka powstawania pleśni w przegrodzie – *mould growth index* (MGI). W zależności od zmiennej temperatury i wilgotności względnej oraz wrażliwości materiału na przyrost pleśni i warunki sezonowe ocenione zostaje ryzyko rozwoju zarodników grzybów strzępkowych na powierzchni danego materiału. Poniżej poziomu 1. zarodniki pleśni nie są widoczne nawet pod mikroskopem. Po przekroczeniu tej granicy dostrzegalne stają się pierwsze zarodniki, zaś powyżej poziomu 3. pleśń staje się dostrzegalna dla oka, lecz pokrywa jedynie małą część badanej powierzchni. Najwyższy poziom 6. oznacza, że cała powierzchnia materiału jest pokryta widoczną dla oka pleśnią. Za wyniki akceptowalne uznaje się wszystkie poniżej poziomu 3.

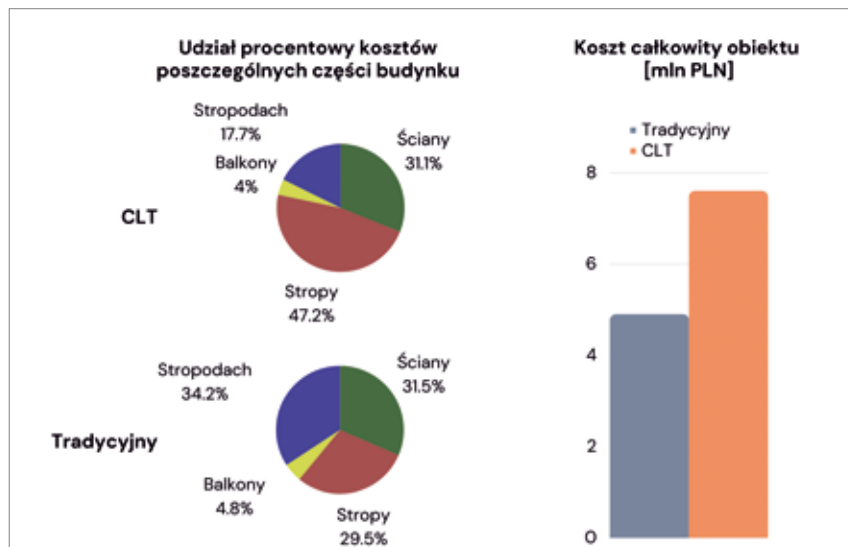
Zmianę poziomu MGI podczas rocznej symulacji wilgotnościowej zbadano



Rys. 1. Wyniki analizy energetycznej – po lewej roczne zużycie energii dla celów grzewczych, po prawej uzyskane wartości wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną dla celów grzewczych i przygotowania ciepłej wody użytkowej; źródło: opracowanie własne – mgr inż. Andrzej Ossowski



Rys. 2. Wyniki analizy wilgotnościowej – u góry maksymalne MGI dla przypadku bez przecieków, w środku maksymalne MGI przy przecieku 1, na dole maksymalne MGI przy przecieku 2; źródło: opracowanie własne – mgr inż. Andrzej Ossowski



Rys. 3. Wyniki analizy kosztowej – wykresy po lewej: udziały procentowe poszczególnych części w całkowitym koszcie konstrukcji obiektu w obu technologiach, po prawej porównanie całkowitego kosztu budowy w analizowanym zakresie; źródło: opracowanie własne – mgr inż. Andrzej Ossowski.

w programach WUFI 2D i WUFI VTT w trzech kluczowych przegrodach w obu technologiach: w stropodachu i ścianie zewnętrznej od strony najbardziej obciążonej opadami deszczu, oraz ścianie wewnętrznej łazienki. Rozróżniono trzy przypadki pracy przegrody. Pierwszy przypadek zakładał optymalną pracę przegrody bez obecności niezamierzonych przecieków, zaś pozostałe przypadki badały stan przy wystąpieniu takowych przecieków wynikających z uszkodzenia warstw izolacyjnych lub nieprawidłowego jej wykonania. W trybie domyślnym obie technologie okazały się bezpieczne. Rezultaty analizy wilgotnościowej przedstawiono na rys. 2. Najgorszy wynik uzyskał stropodach z CLT, osiągając poziom nieco powyżej 1. Jednak po wprowadzeniu do symulacji przecieków poziom ryzyka powstawania pleśni wzrósł, szczególnie w stropodachu technologii CLT. Tutaj wystąpił jedyny przypadek z całej analizy, gdzie przekroczono dozwolony limit, osiągając poziom około 3,5.

Analiza kosztowa

Ostatnim elementem przeprowadzonego porównania była analiza kosztowa. W przypadku budynku tradycyjnego kalkulacja nie sprawiła większego problemu ze względu na swobodny dostęp do rozbudowanej bazy nakładów robocizny, materiałów i sprzętu dla tradycyjnych metod budowlanych w katalogach nakładów rzeczowych. Jako bazę cenową dla szeroko stosowanych robót posłużył cennik Intercenbud z IV kwartału 2022 roku. Bardziej skomplikowana była kwestia nakładów i cen wykonania konstrukcji z CLT. W celu określenia realnego kosztu wykonania założonej konstrukcji drewnianej skonsultowano poziomy cenowe i wielkości nakładów z firmą OMFO, przedstawicielem na rynku polskim producenta drewna klejonego krzyżowo z Austrii, firmy KHL.

Kalkulacje kosztorysowe wykazały, że wariant budynku wykorzystujący CLT był o ponad 50% droższy niż jego odpowiednik wykonany w technologii tradycyjnej (rys. 3.). Najistotniejszym czynnikiem wpływającym na wysoką cenę technologii CLT jest koszt materiału. Największy udział w cenie konstrukcji z drewna masywnego miały stropy, czyli elementy o największej objętości drewna. Krótszy czas montażu, a co za tym idzie, niższe koszty robocizny nie obniżają wystarczająco całkowitego kosztu wykonania budynku w technologii CLT.

Wnioski i podsumowanie

Ostatecznie przeprowadzone badania nie wskazują na znaczące korzyści wynikające z zastosowania drewna klejonego krzyżowo zamiast żelbetu i elementów murowych w analizowanym budynku wielorodzinnym w Gdyni. Nieznacznie niższe zapotrzebowanie na energię grzewczą (o około 5%)

i w większości satysfakcjonujące rezultaty analizy wilgotnościowej (zdecydowana większość przypadków poniżej poziomu 3. MGI) nie są wystarczającymi argumentami, aby zniwelować zdecydowanie niższą (o ponad połowę) cenę technologii tradycyjnej. Istotnym czynnikiem wpływającym na komfort użytkownika i koszt budynków jest ich wydajność akustyczna, którą również należałoby objąć przyszłymi analizami porównawczymi technologii tradycyjnej i drewna masywnego.

Należy jednak mieć na uwadze wstępny charakter zaproponowanej konstrukcji z CLT i dużą możliwość optymalizacji konstrukcji. Istotne są również zalety drewna masywnego nieobjęte powyższą analizą. Nieocenioną przewagą stosowania drewna klejonego krzyżowo jest jego pozytywny wpływ środowiskowy poprzez zdolność do sekwestracji dwutlenku węgla z atmosfery w swojej strukturze. Innymi zaletami prefabrykowanej konstrukcji z drewna klejonego krzyżowo jest wysoka jakość wykonania, szybki montaż i możliwość uszczuplenia fundamentów dzięki niskiej masie. Wyjątkowe są również cechy estetyczne i architektoniczne drewna CLT.

Bibliografia

- [1] Kolb J., *Systems in Timber Engineering: Loadbearing Structures and Component Layers*, Birkhauser Boston, 2008.
 [2] Dz.U. 2019 poz. 1065, 2019 r., *Obwieszczenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*.

DOI: 10.5604/01.3001.0053.7689

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA
 Ossowski Andrzej, Szczepański Marcin, 2023, Analiza energetyczna, wilgotnościowa i kosztowa budynku wykonanego w technologii CLT i technologii tradycyjnej, „Builder” 9 (314).
 DOI: 10.5604/01.3001.0053.7689

Streszczenie: Celem analizy porównawczej było określenie wpływu zastosowania drewna klejonego krzyżowo CLT na wydajność energetyczną, bezpieczeństwo przed szkodliwym działaniem wilgoci oraz kosztu budowy budynku wielorodzinnego w porównaniu z zastosowaniem tradycyjnych metod budowlanych. Analizie poddano istniejący, cztero-kondygnacyjny budynek mieszkalny wykonany z elementów murowych i żelbetu, który przekształcono do technologii CLT. W ramach analizy energetycznej wykonano roczną symulację w programie IDA ICE, uzyskując zapotrzebowanie budynków w obu technologiach na energię grzewczą. Analizę wilgotnościową przeprowadzono w oprogramowaniu WUFI2D i WUFI VTT w oparciu o wskaźnik *mould growth index* (MGI), określający ryzyko powstawania pleśni na powierzchni poszczególnych warstw przegrody budowlanej. Analizą kosztową objęto prace obejmujące wykonanie całej konstrukcji oraz wybranych prac wykończeniowych istotnych dla analizy energetycznej i wilgotnościowej. Budynek z CLT okazał się bardziej wydajny

pod kątem energetycznym od wariantu tradycyjnego. Analiza wilgotnościowa wykazała bezpieczeństwo obu typów konstrukcji przed rozwojem pleśni, choć ujawniła również większą wrażliwość wariantu CLT na wady wykonawcze. Koszt budowy okazał się czynnikiem najsilniej przemawiającym za wyborem technologii tradycyjnej przy budowie analizowanego obiektu. Koszt budowy obiektu z CLT znacznie przewyższył wynik wariantu istniejącego. Przeprowadzone porównanie prowadzi do konkluzji, że CLT jest technologią, która ma duży potencjał, by być realną alternatywą dla tradycyjnych technik wznoszenia budynków. Dużą barierą pozostaje jednak wysoki koszt zakupu materiału i ograniczona świadomość co do prawidłowego projektowania i wykonawstwa nowoczesnych konstrukcji drewnianych w Polsce.

Słowa kluczowe: CLT, wilgotność, wydajność energetyczna, koszt budowy

Abstract: COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ENERGY EFFICIENCY, MOISTURE SAFETY AND COST OF CONSTRUCTING A BUILDING WITH CLT OR TRADITIONAL MATERIALS.

This comparative analysis aims to describe the influence of using cross laminated timber CLT, as opposed to traditional building materials, for the structure of a multifamily building on energy efficiency, moisture safety and cost. An existing building constructed using traditional techniques was redeveloped to the CLT technology, serving as the basis for the comparison. Yearlong energy simulations were carried out for both building variants in IDA ICE, resulting in heating power requirements. Moisture safety simulations were done using the mould growth index MGI methodology, determining the risk of mould growth in different building partitions. Cost calculations include the supporting structure as well as finishing works that influence moisture and energy aspects of the analyses. The CLT building turned out more energy efficient than the existing variant. Mould growth simulations confirmed that both building technologies were safe from excessive mould growth risk but did signal a larger sensitivity to potential errors in execution of the structure of the timber variant. The cost calculations turned out to be the least favourable part of the comparison for the CLT variant, as calculations showed a substantial disproportion between the necessary financial input required to build with cross laminated timber instead of concrete and brick and mortar. Carried out analyses lead to the conclusion that CLT has a large potential to be an alternative to traditional building materials. What remains a large barrier to it being more widely used is the high material cost and low level of technical know how among designers and contractors in Poland.

Keywords: CLT, moisture, energy efficiency, construction cost