

Stanisław FIC (orcid id: 0000-0002-3182-9060), **Karol ADAMCZYK** (student)
Politechnika Lubelska

Andrzej WŁAS
Biuro Projektów FRESCO

BUDOWNICTWO EKOLOGICZNE Z PREFABRYKOWANYCH ELEMENTÓW Z DREWNA KLEJONEGO CLT

W artykule przedstawiono propozycję budowy domów z elementów drewnianych klejonych. Na przykładzie pokazano proces scalania gotowych prefabrykatów jako elementy ścian budynków. W artykule zaprezentowano wyniki badań wstępnych wytrzymałości na zginanie i ściskanie elementów drewnianych klejonych.

Słowa kluczowe: domy ekologiczne, prefabrykaty, elementy drewniane klejone, gwoździe drewniane

WPROWADZENIE

Drewno krzyżowo laminowane (ang. CLT - Cross Laminated Timber) to bardzo dobry materiał do budowy domów jednorodzinnych, budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej. Już zrealizowane obiekty mają do 9-12 kondygnacji, a w projektowaniu są obiekty 30-kondygnacyjne. W technologii CLT wykonywane są: ściany, stropy i dachy.

Do produkcji paneli używa się wysuszonych do 12% desek świerkowych. Proces suszenia trwa ok. 3 dni i pozbawia deski wszelkich drobnoustrojów, owadów i grzybów. Następnie deski są czterostronnie strugane i układane warstwami na krzyż na specjalnym stole, gdzie jednocześnie łączy się je między sobą. Łączenie realizuje się za pomocą zszywek, gwoździ, kołków lub kleju lub kombinacją tych metod. Powstaje wtedy ściana CLT o wymiarach ok. 3 m wysokości i długości do kilkunastu metrów. Następnie cała ściana jest obrabiana przez urządzenie most obróbczy, który wycina w niej otwory na okna, drzwi i wszelkie instalacje. W tak przygotowanej ścianie instaluje się okna, drzwi, przeprowadza rury i kable, montuje się także docieplenie. Gdy wszystkie ściany są gotowe, transportuje się je na plac budowy i montuje w ciągu kilku dni cały budynek [1].

1. CHARAKTERYSTYKA TECHNOLOGII CLT

Technologia CLT daje możliwość znacznej prefabrykacji, która skraca czas montażu budynku na działce do minimum. Większość robót odbywa się w komfor-

towych warunkach hali produkcyjnej, co z kolei przekłada się na precyzję wykonania niemożliwą do osiągnięcia przy tradycyjnych technologiach budowlanych. Montaż budynku na placu budowy jest szybki. Jest to proces suchy, dzięki czemu niezwłocznie na budowę można wejść z robotami wykończeniowymi. Środowisko pracy ekip montażowych i wykończeniowych jest znacznie przyjaźniejsze, gdyż eliminuje się procesy schnięcia oraz chemię budowlaną.

Technologia budowy z drewna klejonego CLT daje ogromne możliwości architektom i swobodę przy projektowaniu obiektów. Drewno wewnątrz budynków można zostawić odsłonięte i wykorzystać je przy projektowaniu przytulnego i przyjaznego wnętrza. Drewniane otoczenie jest naturalnym środowiskiem dla człowieka, nie powoduje alergii, jest więc odpowiednie dla każdego.

Budowanie z drewna jest ekologiczne i przyjazne środowisku. Ściany drewniane są biodegradowalne, do ich produkcji nie potrzeba wiele energii, a materiał jest szeroko dostępny i nie wymaga pracochłonnych procesów technologicznych. Zaleca się użycie lokalnie występujących gatunków drzew, dzięki czemu unika się kosztownego i wysokoemisyjnego transportu. Pozyskiwanie materiału wspiera rozwój racjonalnej i zrównoważonej gospodarki leśnej, którą trudnić się mogą lokalne społeczności. Drewno jest materiałem ekologicznym i biodegradowalnym.

Produkcja domu z drewna klejonego w technologii CLT charakteryzuje się wyraźnie mniejszym zużyciem energii i niższą emisją CO₂ w porównaniu z budową w technologii tradycyjnej, monolitycznej czy prefabrykowanej. Powoduje również znacznie mniejszą emisję dwutlenku węgla do atmosfery. Drzewo jako roślina absorbuje z otoczenia dużą ilość CO₂ i po przeróbce na drewno staje się konkurencyjne w porównaniu z innymi materiałami budowlanymi pod względem ekologicznym. Szybki montaż budynku również wymaga relatywnie niewiele energii. Według raportu międzynarodowego biura projektowego SOM (Skidmore, Orwings&Merrill) z 2014 roku, konstrukcja budynku z CLT generuje do 70% mniejszą emisję CO₂ w porównaniu do podobnej tradycyjnej budowy z żelbetu [2].

Kolejną zaletą budowania z drewna klejonego CLT jest fakt, że do jego produkcji używane mogą być drzewa małe, o średnicy nawet 15 centymetrów, oraz drzewa chore czy obumarłe. Z powodzeniem można zagospodarować drewno pochodzące z tzw. wiatrołomów. W procesie produkcji można używać także drewna, które nie nadaje się do innych zastosowań prócz opałowych [2].

Dzisiaj nawet wysokie budynki z CLT buduje się w wielu miejscach na świecie. Dziesięcioletni budynek o nazwie „Forte” został niedawno oddany do użytku w Melbourne w Australii. W Bergen w Norwegii powstaje 14-piętrowy apartamentowiec „The Tree”, w Wiedniu planuje się konstrukcję 24-piętrowego budynku HoHo Tower, który będzie się składał w 76% z drewna. Projektuje się też 33-piętrowy drewniany budynek, który ma stanąć w Paryżu.

Badania rynków amerykańskich i kanadyjskich pokazują, że zabudowa mieszkalna średniowysoka (między 22 a 40 metrów) jest nieopłacalna przy użyciu technologii monolitycznej (żelbetowej) i z powodzeniem zaczyna się ją zastępować technologią CLT [3].

Budynki w tej technologii mają wysoką odporność pożarową, lepszą niekiedy od konstrukcji żelbetowych i stalowych. Izolacyjność ogniowa jest bardzo wysoka, co potwierdzają testy wykonane w Japonii. Ponadto ściany z CLT cechuje duża izolacyjność akustyczna, co sprawia, że można je stosować w niemal każdej kategorii budownictwa, łącznie z hotelami i budynkami mieszkalnymi wielorodzinnymi.

Ponadto technologia drewna klejonego CLT doskonale sprawdza się w rejonach narażonych na trzęsienia ziemi. Szttywna i relatywnie lekka konstrukcja skutecznie przeciwstawia się drganiom. Testy sejsmiczne przeprowadzone w Japonii pokazały, że siedmiopiętrowy budynek przetrwałby bez widocznych uszkodzeń trzęsienie ziemi o sile równej temu, które miało miejsce w Kobe w 1995 roku i kosztowało życie kilku tysięcy osób oraz spowodowało ogromne zniszczenia.

Koszt budowy domów w technologii CLT jest zbliżony do budynków wznoszonych sposobami tradycyjnymi. Jednakże niezaprzeczalna ilość zalet, jakie niesie za sobą ten sposób budowy, jednoznacznie przemawia na jego korzyść, co jest dzisiaj widoczne na rynkach zachodnich i co na pewno da się zauważyć w najbliższych latach w Polsce.

W krajach rozwiniętych kształtuje się nisza, w którą wpasowała się technologia klejonego drewna, a mianowicie średniej klasy zabudowa wielorodzinnna oraz budownictwo jednorodzinne. Powstaje również coraz więcej budynków użyteczności publicznej [3, 4].

Dodatkową wartość budownictwa z CLT stanowi jego proekologiczność wraz ze zdrowotnymi zaletami dla mieszkańców, szybkość realizacji oraz jakość i szczelność połączeń. Należy się spodziewać, że wkrótce takie ekologiczne i prozdrowotne budownictwo będzie promowane zachęcającymi bonusami ze strony banków i polityków.

Analiza rynkowa wskazuje, że jest to produkt nowy i innowacyjny, bardzo przychylnie przyjęty przez klientów, deweloperów, polityków i banki oraz finansistów. Koszty budowy są podobne do rozwiązań obecnie stosowanych, jednak czas realizacji powoduje mniejsze koszty obsługi kredytu. Ściany są bardzo sztywne, lekkie i na tyle cienkie w swej konstrukcji, że powiększają do ok. 10% wielkość powierzchni użytkowej budynków mieszkalnych w porównaniu do obecnych technologii.

Obecnie technologia CLT opiera się głównie na łączeniu desek za pomocą kleju oraz różnych łączników mechanicznych w postaci metalowych gwoździ, zszywek, drewnianych kołków. Użycie metalowych łączników powoduje zagrożenie uszkodzenia urządzeń podczas wycinania otworów w ścianach czy cięcia ich na mniejsze elementy, rozmieszczenie łączników musi więc być przemyślane. Zastosowanie samego kleju wymusza użycie bardzo kosztownych pras, pod którymi element musi spędzić znaczną ilość czasu, zanim klej zwiąże i wyschnie. Łączenie za pomocą drewnianych kołków odbywa się po uprzednim nawiercaniu wcześniej przygotowanych warstw desek, co jest czasochłonne i może być problematyczne [5]. Przykładowy budynek zrealizowany w technologii CLT przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Dom jednorodzinny w Jakubowicach Konińskich pod Lublinem (w trakcie realizacji) [fot. własna]

2. BADANIA WŁASNE

Celem badań przeprowadzonych w Zakładzie Budownictwa Ogólnego Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej było wykazanie przydatności płyt z drewna klejonego warstwowo z dodatkowym zastosowaniem wstrzeliwanych metodą pneumatyczną łączników z kompozytu drewnopochodnego do wznoszenia ścian budynków w budownictwie niskim. Założono, że rozwiązanie to innowacyjne i dotychczas nie stosowane powinno zapewnić produkt spełniający wymagania fizyczne i wytrzymałościowe zawarte w obowiązujących przepisach i normach, a także konkurencyjny pod względem kosztów wytwarzania.

W proponowanym nowatorskim rozwiązaniu założono łączenie warstw za pomocą dwu sposobów: klejenia i mechanicznego scalania za pomocą kompozytowych gwoździ. Podstawowym czynnikiem spajającym jest spoina klejowa, gwoździe pełnią rolę łącznika dodatkowego, lecz są one niezwykle istotne podczas procesu klejenia. Wprowadzane w odpowiednim rozstawie i przy miejscowym nacisku na łączone warstwy zapewniają trwałą docisk klejonych powierzchni, umożliwiającą uzyskanie wysokiej nośności połączenia klejowego.

Metoda ta daje wstępne scalenie warstw natychmiast po wstrzeleniu gwoździ, wystarczające do prawidłowego przebiegu procesu twardnienia kleju i kolejnych etapów procesu produkcyjnego. Stosowane obecnie przez producentów płyt utrzymywanie stałego nacisku na łączone warstwy za pomocą prasy działającej na całej powierzchni płyty aż do stwardnienia kleju, staje się zbędne, co pozwala istotnie zmniejszyć czas i koszty wytwarzania płyt.

W celu zbadania podstawowych właściwości wytrzymałościowych elementów z drewna klejonego warstwowo z wykorzystaniem gwoździ z kompozytu drewnopochodnego oraz kleju wykonano elementy prototypowe w postaci płyt zawierających 5 warstw drewna o grubości 20 mm każda, w układzie krzyżowym (CLT) z dodatkowym łączeniem gwoździami kompozytowymi w rozstawie 100x100 mm. Całkowita grubość płyty wynosiła 100 mm.

Gwoździe wstrzeliwane były w dwu warstwach: po ułożeniu i połączeniu klejem trzech pierwszych warstw oraz po ułożeniu i sklejeniu kolejnych dwu warstw. Przy długości gwoździ 50 mm i grubości warstw 20 mm ten sposób wprowadzania gwoździ zapewnił oprócz klejenia dodatkowe mechaniczne połączenie wszystkich pięciu warstw płyty. Przygotowanie płyt do badań przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przygotowanie płyty CLT do badań. Wstrzeliwanie gwoździ kompozytowych za pomocą gwoździarki pneumatycznej [fot. własna]

Badania wstępne podstawowych właściwości mechanicznych płyt przeprowadzono w Laboratorium Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej. Badania wykonano zgodnie z normą PN-EN 789 „Konstrukcje drewniane. Metody badań. Oznaczanie właściwości mechanicznych płyt drewnopochodnych” [6]. Zgodnie z wymaganiami normy, próbki przed badaniem poddane były kondycjonowaniu w komorze klimatycznej w temperaturze $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej $\varphi = 65 \pm 5\%$.

Po ustabilizowaniu się wilgotności próbek przystąpiono do badań wytrzymałości płyt na zginanie i ściskanie w kierunku zgodnym z kierunkiem włókien w środkowej warstwie desek i w kierunku prostopadłym do kierunku włókien w środkowej warstwie desek.

Uzyskano następujące wyniki badań wytrzymałości na zginanie:

- wytrzymałość na zginanie w kierunku równoległym do włókien drewna w warstwie środkowej: $f_{m,\text{mean}} = 11,9 \text{ N/mm}^2$; $f_{m,k} = 6,0 \text{ N/mm}^2$
- wytrzymałość na zginanie w kierunku prostopadłym do włókien drewna w warstwie środkowej: $f_{m,\text{mean}} = 5,9 \text{ N/mm}^2$; $f_{m,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$

Uzyskano następujące wyniki badań wytrzymałości na ściskanie:

- wytrzymałość na ściskanie w kierunku równoległym do włókien drewna w warstwie środkowej: $f_{c,\text{mean}} = 23,0 \text{ N/mm}^2$; $f_{c,k} = 15,1 \text{ N/mm}^2$
- wytrzymałość na ściskanie w kierunku prostopadłym do włókien drewna w warstwie środkowej: $f_{c,\text{mean}} = 17,7 \text{ N/mm}^2$; $f_{c,k} = 11,7 \text{ N/mm}^2$

PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki badań wytrzymałościowych prototypowych płyt z drewna klejonego warstwowo z dodatkowym łączeniem wstrzeliwanymi gwoździami kompozytowymi wskazują na możliwość stosowania ścian wytwarzanych tą metodą do wznoszenia budynków w budownictwie niskim. Charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie w kierunku pionowym, która wyniosła $15,1 \text{ N/mm}^2$, a także wytrzymałość na zginanie w tym kierunku na poziomie $6,0 \text{ N/mm}^2$, to wartości pozwalające, przy grubości płyt 100 mm, na zaprojektowanie ścian nośnych i usztywniających, zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych w budynkach mieszkalnych do trzech kondygnacji. Wytrzymałości te w procesie produkcji płyt można podwyższyć, np. stosując wyższe klasy drewna. Opracowanie szczegółowych wytycznych projektowania konstrukcyjnego budynków i rozszerzenia wykorzystania płyt na budynki o różnym przeznaczeniu i funkcji będzie możliwe po przeprowadzeniu dodatkowych badań obejmujących pełny zakres badań fizycznych i wytrzymałościowych wyszczególnionych w normie PN-EN 13986 [7] z uwzględnieniem różnych wariantów wykonania płyt.

LITERATURA

- [1] Karacabeyli E., Douglas B., CLT Handbook Cross Laminated Timber, US Edition, 2013.
- [2] Carlson E.E., Cross Laminated Timber: Perspectives on the Market, Environmental and Economic Considerations for the Puget Region and Washington State, czerwiec 2014.
- [3] Crespell P., Gaston C., The Value Proposition for Cross-Laminated-Timber, 2011.
- [4] Mahlum, Walsh Construction Co., Coughlin Porter Lundeen: CLT Feasibility Study: A study of alternative construction methods in Pacific Northwest, maj 2014.
- [5] Thoma E., Na długi czas, 2014.
- [6] PN-EN 789 - Konstrukcje drewniane. Metody badań. Oznaczanie właściwości mechanicznych płyt drewnopochodnych.
- [7] PN-EN 13986 - Płyty drewnopochodne do stosowania w budownictwie - Właściwości, ocena zgodności i oznakowanie.

ECOLOGICAL BUILDING MADE OF PREFABRICATED GLUED WOOD ELEMENTS CLT

The article presents the proposal for the construction of ecological houses made of glued wood. The example shows the process of merging finished elements of building walls. The article presents the results of preliminary tests, bending strength and compression of glued wooden elements.

Keywords: ecological houses, prefabricat, glued wooden elements, wooden nails