

# Drewniane budynki wysokie – możliwości i ograniczenia

## Wooden tall buildings – opportunities and obstacles

mgr inż. Michał Dzun (ORCID: 0000-0003-2478-5538), Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, Politechnika Białostocka

DOI: 10.5604/01.3001.0054.3603

**Streszczenie:** Drewniane budynki wysokie towarzyszą ludziom od wieków. Współczesny rozwój technologii materiałowej, narzędzi do projektowania i wysoki stopień prefabrykacji pozwolił na budowanie wysokich budynków w stosunkowo niedługim czasie. Mając na uwadze te aspekty oraz proekologiczne względy stosowania konstrukcji drewnianych, można je idealnie wpasować w aktualne wymagania stawiane budownictwu. Przekłada się to na odnotowywany w ostatnich latach wzrost popularności konstrukcji drewnianych. Do pełnego rozwoju tego postępowego trendu potrzeba jeszcze dużo pracy w zakresie dopracowania m.in. kwestii pożarowych czy rozwiązań w zakresie wpływów oddziaływań sejsmicznych, które dają badaczom pole do dalszych działań.

**Słowa kluczowe:** drewno, budynki wysokie, drewno klejone, CLT.

**Abstract:** Wooden tall buildings have accompanied people for centuries. Modern development of material technology, design tools and a high degree of prefabrication allowed the construction of tall buildings in a relatively short time. Taking these aspects into account, as well as the pro-ecological considerations of using wooden structures, they can be perfectly fitted into the current requirements for construction. Due to this, there has been an increase in the popularity of wooden structures in recent years. A lot of work is still needed to fully develop this progressive trend, including: fire issues or solutions to the impact of seismic impacts, which provide researchers with scope for further activities.

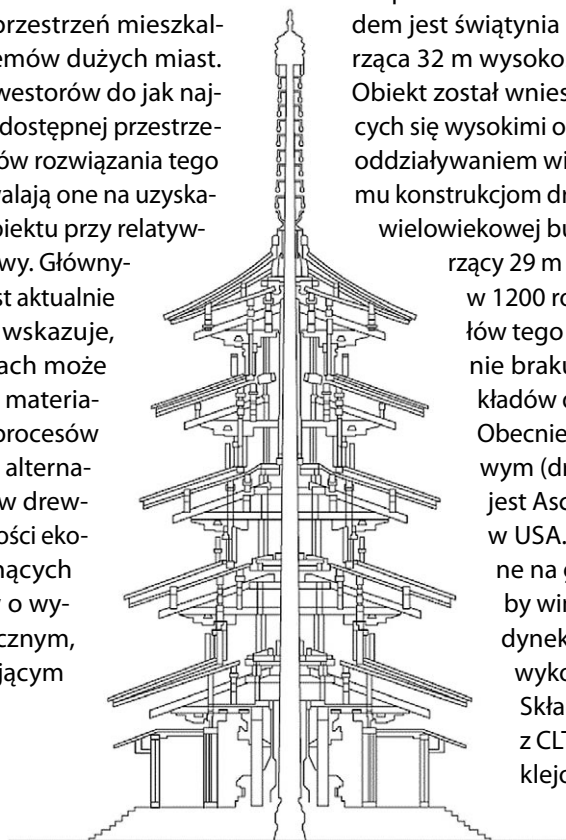
**Keywords:** wood, tall buildings, glued timber, CLT.

## 1. Wprowadzenie

Nieustające zapotrzebowanie na przestrzeń mieszkalną jest jednym z wiodących problemów dużych miast. Rosnące ceny gruntów skłaniają inwestorów do jak najefektywniejszego wykorzystywania dostępnej przestrzeni do zabudowy. Jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu są budynki wysokie. Pozwalają one na uzyskanie dużej powierzchni użytkowej obiektu przy relatywnie niewielkiej powierzchni zabudowy. Głównymi budulcami obiektów wysokich jest aktualnie żelbet i stal, jednakże wiele na to wskazuje, że tendencja ta w najbliższych latach może ulec zmianom. Rozwój technologii materiałowej wyrobów drewnianych oraz procesów projektowych [1], zainicjował nową alternatywę w postaci wysokich budynków drewnianych. Wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej społeczeństwa oraz rosnących kosztów przetwórstwa materiałów o wysokim zapotrzebowaniu energetycznym, drewno staje się materiałem zyskującym coraz to większe zainteresowanie.

## 2. Przykłady realizacji

Wbrew powszechnym przekonaniom drewniane budynki wysokie towarzyszą ludzkości



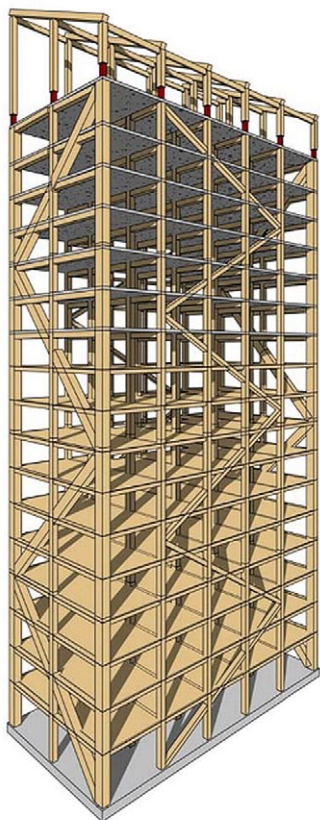
Rys. 1. Mierząca 32 m Japońska pagoda Hōryū-ji z VII wieku [2]

od wieków. Najstarszymi z nich są drewniane pagody w Japonii budowane już w VII wieku. Dobrym przykładem jest świątynia Hōryū-ji wzniesiona w 607 r. mierząca 32 m wysokości, którą pokazano na rysunku 1. Obiekt został wnieiony na terenach charakteryzujących się wysokimi oddziaływaniami sejsmicznymi oraz oddziaływaniem wilgotnego klimatu, niesprzyjającemu konstrukcjom drewnianym [2]. Drugim przykładem wielowiekowej budowli jest drewniany kościół mierzący 29 m wysokości. Został on wybudowany

w 1200 roku i jest największym z 28 kościołów tego typu w Norwegii [3, 4]. Na świecie nie brakuje również współczesnych przykładów drewnianych budynków wysokich. Obecnie najwyższym budynkiem hybrydowym (drewniano-betonowym) na świecie jest Ascent Tower położony w Milwaukee w USA. Dolne kondygnacje przeznaczone na garaże oraz klatki schodowe i szyby windowe wykonane są z żelbetu. Budynek liczy 25 pięter, z czego 18 zostało wykonanych w konstrukcji drewnianej. Składają się one z paneli wykonanych z CLT oraz belek wykonanych z drewna klejonego. Całkowita wysokość obiektu wynosi 86,6 m [5].

Ciekawymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi może poszczycić się mierzący 81 m

i posiadający 18 pięter budynek mieszkalny Mjøstårnet położony w Brumunddal w Norwegii. Schemat konstrukcyjny tego budynku został pokazany na rysunku 2. Przestrzenna kratownica wykonana z drewna klejonego o dużych przekrojach odpowiada za zapewnienie należytej sztywności przestrzennej obiektu oraz zbieraniu obciążeń przekazywanych z kolejnych pięter. W odróżnieniu od poprzedniego obiektu, szyby windowe oraz biegi schodów również wykonano z drewna w technologii CLT. Nietypowym rozwiązaniem w przypadku tego obiektu było wykonanie żelbetowych stropów siedmiu najwyższych pięter. Rozwiązanie to spowodowało podniesienie środka ciężkości obiektu, co pozytywnie wpłynęło na niwelację negatywnych odczuć wynikających z poziomych przemieszczeń budynku wywołanych działaniem wiatru. Zabieg ten pozwolił również na uzyskanie lepszych parametrów akustycznych w bardziej luksusowych apartamentach położonych na najwyższych piętrach [6].



Rys. 2. Schemat konstrukcyjny Mjøstårnet [6]

### 3. Rozwiązania technologiczne

Drewniane budynki wysokie, w zdecydowanej większości są wykonywane z paneli produkowanych z drewna klejonego krzyżowo – CLT (Cross Laminated Timber) oraz belek z drewna klejonego liniowo. Różnice pomiędzy tymi dwoma rodzajami technologii klejenia drewna przedstawiono na rysunku 3. Zastosowanie tych rozwiązań materiałowych pozwala na uzyskanie dużych przekrojów elementów, nieosiągalnych do tej pory w drewnie litym. Budynki drewniane obecnie charakteryzują się bardzo wysokim stopniem prefabrykacji, co bardzo sprzyja przyspieszeniu procesu budowlanego oraz w dużym stopniu eliminuje problemy związane z brakami wysoko wykształconych brygad ciesielskich.

Prefabrykowane elementy konstrukcyjne w postaci belek oraz paneli ściennych i stropowych docierają na budowę w postaci gotowych elementów z wykonanymi wcześniej niezbędnymi zacięciami, frezowaniami i wierceniami, wykonanymi z dokładnością ich położenia nawet do 1,5 mm [5]. Połączenia pomiędzy elementami belek z drewna klejonego są wykonywane za pośrednictwem blach węzłowych [6], a połączenia płyt CLT najczęściej wykonywane są za pośrednictwem specjalistycznych stalowych okuć ciesielskich i wkrętów. Tak sprefabrykowany model konstrukcji wymaga bardzo dużych nakładów pracy na etapie projektowania i sporządzania dokumentacji warsztatowej. Bardzo ważną kwestią poruszaną w pracach [8, 9] jest w tym przypadku konieczność zapewnienia ścisłej współpracy pomiędzy

projektantem i wykonawcą, a sam proces planowania jest znacznie bardziej pracochłonny niż w przypadku konwencjonalnego apartamentowca [8]. Projekty warsztatowe sporządzane są w specjalistycznym oprogramowaniu i opracowywane w postaci trójwymiarowych modeli. Odpowiednio sporządzony model, może być przekonwertowany na język operacyjny centr ciesielskich CNC, które są w stanie wykonać wszystkie niezbędne obróbki. Rozwiązanie to pozwala na wydajniejszą pracę na etapie prefabrykacji elementów oraz minimalizację błędów ludzkiego podczas sporządzania i odczytywania tradycyjnej formy dokumentacji.

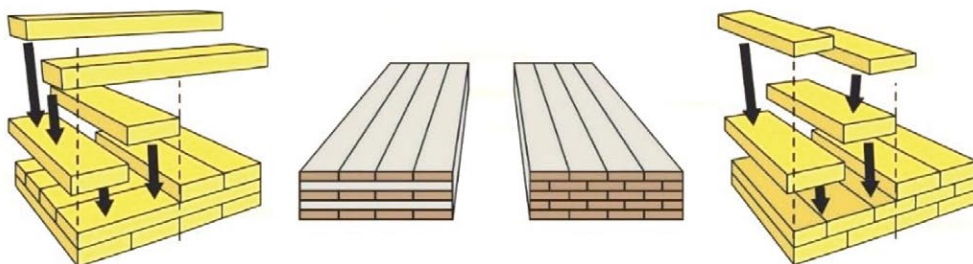
### 4. Szanse i trudności

Budownictwo drewniane bez wątpienia wpisuje się w bieżącą tendencję promowania ekologicznych rozwiązań stosowanych w budownictwie. Drewno jest materiałem stosunkowo łatwym do pozyskania i dalszej obróbki. W porównaniu do stali czy betonu wymaga ono stosunkowo niewielkiego

zapotrzebowania na energię czy wodę podczas procesu przetwarzania. Wielkogabarytowe prefabrykowane elementy ścienne i stropowe mogą zawierać już częściowo wykonane warstwy wykończeniowe. Co przekłada się na znaczne przyspieszenie postępu robót oraz mniejsze zapotrzebowanie siły roboczej na budowie. Podczas rozważań dotyczących zalet wysokiego budownictwa drewnianego należy również uwzględnić fakt, że podczas procesu wzrostu, drzewa pochłaniają ogromne ilości dwutlenku węgla. W obecnych czasach wysokich cen energii oraz znacznych kosztów związanych z emisją CO<sub>2</sub> do atmosfery, kwestie te stają się coraz ważniejsze. Według danych zamieszczonych w [10] przez zarząd dewelopera, mniej niż 25 minut naturalnego przyrostu drzew w lasach Ameryki Północnej, jest w stanie zrekomensować ilość drewna niezbędną do zbudowania najwyższego hybrydowego wieżowca drewnianego Ascent Tower [5].

Upowszechnienie wysokiego budownictwa drewnianego odbywa się również za pośrednictwem licznych zachęt ze strony instytucji państwowych. Dobrym przykładem jest Finlandia, która wprowadziła programy budowy wielopiętrowych budynków mieszkalnych, dotowanych ze środków publicznych. Propagowanie budownictwa drewnianego odbywało się również na szczeblu lokalnym, poprzez nałożenie obowiązku stosowania konstrukcji drewnianej na podstawie zapisów planu zagospodarowania przestrzennego [8].

**Rys. 3.** Technologia drewna klejonego krzyżowo CLT (po lewej) oraz drewna klejonego liniowo (po prawej) [7]



Jest to dużą szansą dla popularyzacji budownictwa drewnianego, ale i również zagrożeniem. Dofinansowywane przez państwo programy mieszkaniowe mogą tworzyć negatywny wizerunek budownictwa drewnianego jako taniego rozwiązania dużych obiektów mieszkalnych, a restrykcje zawarte w lokalnych planach zagospodarowania mogą napotkać się ze sprzeciwem mieszkańców i wywołać skutki przeciwne od zakładanych.

Drewniane budownictwo wysokie znajduje się obecnie w fazie silnego rozwoju. Każda realizacja stawia coraz to nowsze wyzwania oraz wyznacza nowe ścieżki w budownictwie. Wyniki ankiety przedstawionej w [7] wykazują, że praktykujący inżynierowie nie są zazwyczaj wystarczająco zaznajomieni z projektowaniem konstrukcji drewnianych, a ograniczone zasoby nie pozwalają badaczom na tworzenie bardzo zaawansowanych modeli rozwiązań konstrukcji drewnianych. W celu uporządkowania i popularyzacji wiedzy, w 2022 roku powstał obszerny przewodnik [7] dotyczący projektowania konstrukcji drewnianych. Jednakże najlepszą nauką jest praktyka i najlepszym rozwiązaniem dla branży budowlanej byłoby opracowanie otwartego zbioru gotowych koncepcji rozwiązań wybranych problemów. Jednakże, jak wskazuje źródło [8], głównym problemem drewnianego budownictwa wysokiego jest zagrożenie odizolowania rozwiązań i niechęć wykonawców do udostępniania opracowanych przez siebie rozwiązań. Specjalistyczna wiedza w zakresie „know-how” oraz opracowanie technologii pod kątem danej realizacji mocno ogranicza również krąg potencjalnych wykonawców. Z tych względów, rynek wysokich budynków drewnianych jest bardzo trudnym obszarem dla firm projektowych i wykonawczych dopiero rozpoczynających swe działania w jego zakresie.

Istotną kwestią dotyczącą konstruowania obiektów drewnianych są nieścisłości występujące w normach. Za przykład może posłużyć artykuł [11], w którym eksperymentalnie dowiedzione zostało obliczeniowe przeszacowanie nośności na docisk w poprzek włókien w podejściu zaprezentowanym w normie [12], czy praca [9], w której wykazano brak wystarczających wytycznych do projektowania budynków bezpiecznych sejsmicznie według normy [13]. Kwestie te są nieustannie zgłębiane przez badaczy z całego świata, jednakże powyższe argumenty oraz stosunkowo niewielka ilość zrealizowanych drewnianych obiektów wysokich, nie zachęcają konstruktorów oraz przyszłych inwestorów do wyboru tego typu konstrukcji.

Nieodłączną kwestią budownictwa drewnianego jest zapewnienie odporności obiektu na warunki pożarowe. Według publikacji [8] kwestie pożarowe mają wpływ na ilość realizacji obiektów wyższych niż 8 pięter, ze względu na występowanie w konstrukcji drewna jako materiału palnego oraz związanych z nimi dróg ewakuacji. Wysoki obiekt drewniany może kojarzyć się z dużym niebezpieczeństwem w czasie pożaru, jednakże są to nieuzasadnione obawy. Rzeczywistość jest zupełnie inna, co zostało precyzyjnie opisane w artykule [14]. Najważniejszą kwestią w tym przypadku jest przewidywalność w warunkach pożaru. Faktem jest, że drewno ma określoną szybkość i temperaturę spalania, a wielkowymiarowe elementy drewniane stosowane w budownictwie wysokim (panele CLT czy duże przekroje belek wykonanych z drewna klejonego) mają stosunkowo wysoką ognioodporność oraz niską przewodność cieplną. Karbonatyzacja powierzchni płonącego drewna powoduje powstanie naturalnej warstwy ochronnej spowalniającej spalanie. Efekty te znajdują odzwierciedlenie w europejskich klasyfikacjach, gdzie materiał ten występuje jako „zapalny w normalnym stopniu”. Jednakże, jak podaje [14], europejskie normy pożarowe nadal nie uwzględniają tych czynników, umieszczając przy tym drewniane budynki wysokie na straconej pozycji. Aczkolwiek kolejno powstające realizacje drewnianych budynków wysokich dowodzą, że można znaleźć odpowiednie rozwiązania przeciwpożarowe. Najbardziej popularnymi rozwiązaniami są: obudowa konstrukcji wykonana z materiałów odpornych na działanie ognia, izolacja niereaktywna wykonana np. z wełny mineralnej, masa natryskowa, farba ogniochronna w postaci powłoki pęczniającej pod wpływem temperatury.

Nowoczesna architektura oraz uwydatnienie drewnianej konstrukcji budynku na elewacji jest rozwiązaniem ogólnie cenionym przez inwestorów oraz otoczenie. Jest to niebywała zaleta konstrukcji drewnianych, jednakże wraz z upływem czasu może przerodzić się w jej wadę. Drewno jest materiałem dosyć wrażliwym na oddziaływania atmosferyczne. W związku z czym, wraz z upływem lat, elementy drewniane wyeksponowane na działania wpływu wilgoci i słońca mogą stracić swoją pierwotną estetykę. Właściciel lub zarządca tego typu obiektu będzie musiał pamiętać o konieczności okresowego odnawiania elewacji obiektu, co w przypadku wysokich obiektów może być bardzo kosztownym zabiegiem.



## 5. Podsumowanie

Drewniane budownictwo wysokie niesie za sobą wielowiekową historię. Postęp wielu gałęzi technologii, takich jak nowe rozwiązania materiałowe dotyczące wyrobów z drewna czy rozwój projektowania połączonego z zaawansowaną prefabrykacją, niosą za sobą szereg korzyści stwarzających możliwości rozwoju tej dziedziny budownictwa. Obiekty wykonane z drewna, które jest surowcem odnawialnym, łatwo przetwarzalnym oraz poddającym się recyklingowi, bardzo dobrze wpisuje się w aktualne proekologiczne trendy promowane przez państwa oraz rosnącą świadomość ekologiczną ich przyszłych użytkowników. Rozwój i upowszechnienie tej dziedziny budownictwa wymaga jeszcze dużego nakładu pracy w zakresie opracowania i udostępnienia rynkowi sprawdzonych rozwiązań oraz udoskonalenia wymagań w zakresie przepisów prawnych stawianych tym konstrukcjom. Oprócz licznie prowadzonych w obecnym czasie prac badawczych z zakresu wpływów sejsmicznych, kolejnymi obszarami prac badawczych może być analiza dynamiczna konstrukcji oraz uwzględnienie właściwości reologicznych drewna. Właściwe przeprowadzenie tych działań pozwoli na zwiększenie trendu popularyzacji drewnianego budownictwa wysokiego.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://altair.com/newsroom/articles/the-rise-of-tall-wood-buildings> dostęp 06.12.2023
- [2] Green M. The case for tall wood buildings, Blurb, Vancouver, 2017
- [3] <https://www.visitnorway.com/typically-norwegian/stave-churches/> dostęp 06.12.2023
- [4] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Heddal\\_stavkirke](https://pl.wikipedia.org/wiki/Heddal_stavkirke), dostęp 06.12.2023
- [5] <https://www.constructionspecifier.com/wisconsin-worlds-tallest-mass-timber-structure/> dostęp 06.12.2023
- [6] Rune Abrahamsen, Mjøstårnet – Construction of an 81 m tall timber building, 23. Internationales Holzbau-Forum IHF, 2017
- [7] Chen Z., Tung D., Karacabeyli E. Modelling Guide for Timber Structures Special Publication SP-544 FPinnovations Pointe-Claire, 2022
- [8] Tulonen L., KORPUT – Korkeiden puukerrostalojen tutkimus, praca dyplomowa, Uniwersytet w Tampere Finlandia, sierpień 2020
- [9] <https://puuinfo.fi/2022/10/22/tall-wooden-buildings-potential-benefits-challenges-and-prospects/?lang=en> dostęp 06.12.2023
- [10] <https://www.dezeen.com/2023/04/03/ascent-korb-associates-milwaukee-timber-revolution/> dostęp 06.12.2023
- [11] Węglorz M., Brol J., Kubica J., Hadera R., Nośność na docisk w poprzek włókien w szkieletowych budynkach drewnianych, Materiały Budowlane 11/2020, DOI: 10.15199/33.2020.11.02
- [12] PN-EN 1995-1-1:2010 Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych – Część 1-1: Postanowienia ogólne – Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków
- [13] PN-EN 1998-1:2005/A1:2014-01: Eurokod 8: Projektowanie konstrukcji poddanych oddziaływaniom sejsmicznym – Część 1: Reguły ogólne, oddziaływania sejsmiczne i reguły dla budynków
- [14] <https://www.hilti.pl/content/hilti/E3/PL/pl/business/news-und-events/magazine/directory/trends/firestop-wood.html> – dostęp 06.12.2023

V edycja Konferencji Naukowo-Technicznej pt.

# NOWOCZESNE TECHNOLOGIE W BUDOWNICTWIE – WYBRANE ZAGADNIENIA



Pomysłodawcą i organizatorem jest Łódzka Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa.

Patronem konferencji jest Instytut Techniki Budowlanej.

Konferencja organizowana jest we współpracy z Expo Property BIS S.C. – organizatorem Targów INTERDOM 2024

**14–15 marca 2024 r., EC1 Centrum Nauki i Techniki i Hala Expo Łódź**

W konferencji mogą wziąć udział członkowie ŁOIIB po dokonaniu płatności w wysokości 120 zł.

Dla pozostałych uczestników odpłatność wynosi 400 zł.

Opłata nie obejmuje kosztów noclegu.

Nr konta: 81 1440 1231 0000 0000 0222 7622 (w tytule imię, nazwisko, konferencja)

Zgłoszenia należy przesłać

na adres e-mail:

konferencja@loiib.pl do 26.02.2024 r.

HONOROWY KOMITET NAUKOWY

prof. dr hab. inż. Dariusz GAWIN – przewodniczący

dr hab. inż. Jacek SZER, prof. PŁ – sekretarz



WOJEWÓDZKA  
DOROTA RYL



Politechnika Łódzka



P O L S K A  
I Z B A  
I N Ż Y N I E R Ó W  
B U D O W N I C T W A