

Michał BASZEŃ<sup>1</sup>

## WYKORZYSTANIE NIETYPOWYCH MATERIAŁÓW I TECHNOLOGII W BUDYNKACH I OBIEKTACH O KONSTRUKCJI DREWNIANEJ

W pracy przedstawiono przegląd wybranych gatunków drzew tropikalnych takich jak tek czy azobé oraz drzew liściastych (biały dąb amerykański) mogących znaleźć zastosowanie, jako materiał konstrukcyjny we wznoszeniu obiektów o konstrukcji drewnianej, w miejsce powszechnie stosowanej tarcicy drzew iglastych. Przedstawiono właściwości wybranych gatunków drzew oraz przykłady zastosowania ich w zrealizowanych konstrukcjach. W dalszej części pracy dokonano prezentacji wybranych technologii pozwalających na podniesienie trwałości i wytrzymałości konstrukcji drewnianych, jak również pozwalających na skrócenie czasu wznoszenia obiektów budowlanych. Omówiono technologię impregnacji drewna Accoya®, panele CLT oraz budownictwo modułowe. Technologia Accoya® poprzez procesy chemiczne pozwala na usunięcie z drewna związków chemicznych odpowiedzialnych za absorpcję wody w ścianach komórkowych drewna i zastąpienie ich związkami o charakterystyce hydrofobowej. Taki proces pozwala na ograniczenie zawartość wilgoci w drewnie, powodując równoczesny wzrost twardości i odporności tarcicy iglastej do poziomu odpowiadającego drewnu drzew liściastych przy zachowaniu cech pierwotnych drewna poddawane go modyfikacji. Zastosowanie paneli CLT (cross laminated timber) pozwala na ominięcie negatywnej cechy drewna, jaką jest wytrzymałość na kierunku prostopadłym do włókien. Panele wykonane są z warstw drewna klejonego pod kątem prostym, przez co otrzymuje się element konstrukcyjny o wysokiej sztywności i wytrzymałości we wszystkich kierunkach. Czas potrzebny na wzniesienie obiektu budowlanego można znacząco skrócić poprzez zastosowanie budownictwa modułowego. Budynki wznoszone są ze złożonych w zakładach prefabrykacji gotowych modułów w pełni wykończonych w środku.

**Słowa kluczowe:** tarcica drzew tropikalnych i liściastych, drewno Accoya®, panele CLT, budownictwo modułowe

### 1. Wstęp

W budownictwie drewnianym głównym materiałem konstrukcyjnym jest drewno drzew iglastych. Szybki rozwój techniki powoduje, że możliwe staje się

<sup>1</sup> Autor do korespondencji: Michał Baszeń, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E/222 Białystok, tel. 797-995-942, m.baszen@kmb.pb.edu.pl.

wprowadzanie na lokalny rynek budowlany materiałów czy też technologii, które dotychczas nie znajdowały tutaj zastosowania. Ograniczeniem pozostaje oczywiście cena, ale w przypadku nietypowych obiektów, koszt zakupu materiałów lub też technologii może stanowić niewielki procent całego kosztu wznieszonego obiektu.

Drewno drzew liściastych znajduje zastosowanie przy produkcji mebli, wykładzin lub paneli podłogowych. Jako elementy konstrukcyjne głównie wykorzystywane jest przy konstruowaniu łodzi. Właściwości materiałowe takie jak wysoka wytrzymałość, sztywność, twardość, odporność na oddziaływania zewnętrzne (atmosferyczne, biologiczne) pozwala widzieć w drewnie drzew liściastych materiał, który może być zastosowany, jako element konstrukcyjny, osłonowy lub wykończeniowy.

Tarcica drzew iglastych charakteryzuje się skończonością wymiarów poprzecznych, dlatego popularne staje się wykorzystanie elementów klejonych. Pozwala to na zwiększenie potrzebnego przekroju i wykonanie konstrukcji o większych rozpiętościach. Nie eliminuje jednak wady drewna, jaką jest jego niska wytrzymałość na kierunku prostopadłym do włókien. Istnieją jednak technologie pozwalające na wyeliminowanie tego problemu.

## **2. Drewno drzew liściastych**

### **2.1. Gatunki tropikalne**

#### **2.1.1. Tek**

Teczyna wyniosła (*Tectona grandis*) znana powszechnie pod nazwą "tek" jest drzewem tropikalnym rosnącym w stanie naturalnym w południowo-wschodniej Azji. Współcześnie rozległe przemysłowe plantacje rozmieszczone są także w Ameryce Środkowej i Południowej.

Tek jest drzewem, którego drewno charakteryzuje się dużą wytrzymałością i trwałością. Duża naturalna zawartość substancji oleistych powoduje, że jest odporne na działania czynników atmosferycznych i biologicznych. Dzięki czemu znajduje zastosowanie w budownictwie jednostek pływających, jak również w meblarstwie.

Długo uznawano, że drewno rosnące naturalnie jest twardsze i bardziej wytrzymałe niż drzewa hodowane na plantacjach. Aktualne badania dowodzą, że oba rodzaje drewna charakteryzują się podobnymi wymiarami, podobną podatnością na erozję, wypaczenie czy też podobną fakturą, różnica uwidacznia się jedynie w większej podatności drewna z plantacji na zmianę jego koloru w związku z działaniem promieniowania UV [8]. Różnica w wytrzymałości i trwałości drzew z plantacji i rosnących naturalnie wynikała ze zbyt wczesnego ścinania drzew z hodowli, które nie osiągały jeszcze odpowiednich właściwości fizycznych i mechanicznych. Obecnie ten problem już nie występuje.

Duża zawartość substancji oleistych w drewnie teczyny powoduje, że drewno te nie ulega spaceniom w miarę upływu czasu, jest bardzo odporne na korozję biologiczną, nie poddaje się niszczyielskiemu działaniu korników i innych szkodników drzewnych. Drewno te zalicza się do 1 klasy trwałości [10], co oznacza, że jest odporne na oddziaływania biologiczne oraz że jego trwałość bez konieczności remontów to minimum 25 lat.

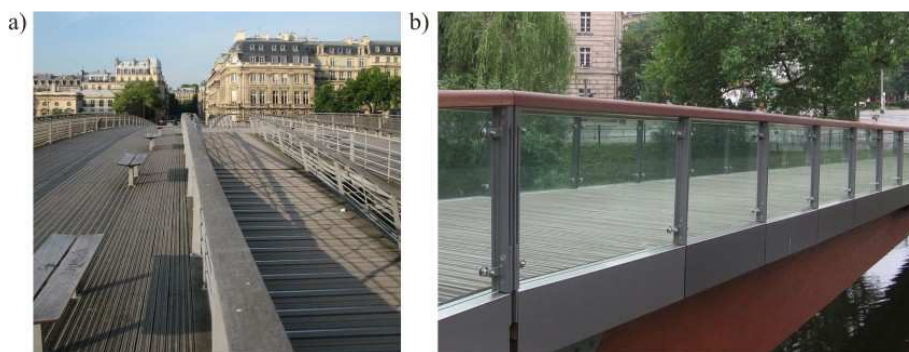
Tek szeroko stosowany jest, jako wykończenie elewacyjne ścian budynków. Duża odporność na działania czynników atmosferycznych powoduje, że nie istnieje potrzeba zabezpieczenia konstrukcji ścian osłonowych, przy równoczesnym zapewnieniu długotrwałego efektu wizualnego.

Drewno tekowe wykorzystywane jest także, jako drewno konstrukcyjne, np. przy wznoszeniu wiat czy też antresoli, czy nawet domków wypoczynkowych. Może być także zastosowane, jako element konstrukcji pomostu w kładkach dla pieszych czy też konstrukcji pomostów żeglarskich.

### 2.1.2. Azobé

Azobé (*Lophira alata*), znane też pod nazwą "red iron wood" jest drzewem rosnącym w wilgotnych lasach tropikalnych głównie zachodniej Afryki, ale sięgająca na wschodzie do pogranicza między Południowym Sudanem, a Ugandą. Drewno azobé jest drewnem bardzo twardym, trudnym do obróbki, o bardzo wysokiej wytrzymałości - moduł Younga zawiera się w zakresie od 22000 do 28500 MPa. Drewno azobé zalicza się do 2 klasy trwałości [10], co oznacza trwałość od 15 do 25 lat.

Ze względu na swoją twardość i trwałość stosowane jest, jako deskowanie pomostu kładek i mostów dla pieszych, jak również, jako podkłady kolejowe.



Rys. 1. Kładki z pomostem z drewna azobé: a) Passerelle Solférino [14], b) Kładka Świebodzka

Fig. 1. Foot-bridges with azobé decking: a) Passerelle Solférino [14], b) Kładka Świebodzka

Przykładem konstrukcji, w której wykorzystano drewno azobé na konstrukcję pomostu jest wzniesiony w roku 1999 w Paryżu most Passerelle Solférino (rys. 1a). W Polsce przykładem takiego rodzaju konstrukcji jest wybu-

dowana w roku 2009 we Wrocławiu Kładka Świebodzka (rys. 1b), tu także drewno azobé użyto na konstrukcję pomostu.

Drewno azobé znajduje także zastosowanie, jako materiał konstrukcyjny. Przykładami realizacji z wykorzystaniem tego drewna są dwa mosty dla ruchu rowerowo-pieszego w Alveringem i oraz przeprawa wodna w Destelbergen w Belgii, jak również łukowy most w Kopenhadze.

## 2.2. Gatunki strefy umiarkowanej

Znaczące połacie Stanów Zjednoczonych zalesione są różnego rodzaju lasami liściastymi. Praktycznie cała wschodnia część tego kraju porośnięta jest takimi gatunkami drzew jak brzoza, różne gatunki dębów czy klonów, tulipanowce, orzechy czy jesiony.

Pomimo, że drewno drzew liściastych wykorzystywane jest głównie, jako produkt meblarski, bardzo dobrze sprawdza się jako konstrukcja podłóg czy też w architekturze wnętrz (jesion amerykański, dąb czerwony amerykański, dąb biały amerykański) [4]. Chociaż wykorzystanie tarcicy liściastej, jako elementów konstrukcyjnych nie jest zbyt częste, to daje bardzo zadawalające efekty.

Przykładem konstrukcji, w której jako drewno konstrukcyjne wykorzystano dąb biały amerykański jest konstrukcja nośna przekrycia atrium budynku Portcullis House w Westminsterze w Wielkiej Brytanii (rys. 2). Budynek, wznoszony w latach 1998-2001, wybudowano jako obiekt mieszczący biura 1/3 członków parlamentu oraz ich współpracowników. Dobudowany został do budynku Westminster Palace, gdzie obraduje parlament Wielkiej Brytanii.



Rys. 2. Konstrukcja przekrycia atrium Portcullis House w Westminsterze [15]

Fig. 2. Roof supporting structure of Portcullis House atrium - Westminster [15]

Przestrzenna prętowa konstrukcja nośna wykonana jest z drewna dębu białego amerykańskiego i utrzymuje przeszklony dach znajdujący się nad atrium [7]. Przeprowadzone badania doświadczalne [7] wykazały, że charakteryzuje się on właściwościami fizycznymi nieznacznie przekraczającymi wielkości odpowiadające klasie D50 [9], co pozwoliło na zastosowanie smukłych elementów o niewielkim przekroju poprzecznym.

### 3. Drewno drzew iglastych

#### 3.1. Drewno impregnowane Accoya®

Grzyby atakując drewno powodują degradację przekroju elementów konstrukcji. Wpływa to bezpośrednio na sztywność i nośność elementu, wymaga zatem stosowania zabezpieczeń antygrzybiczych. Stosowanie impregnatów grzybobójczych niestety ma negatywne oddziaływanie na otaczające środowisko zarówno w trakcie impregnacji, jak i podczas użytkowania konstrukcji, a nawet w procesach utylizacji.

Oczywiście w trosce o środowisko można zastosować drewno gatunków tropikalnych o wysokiej odporności na degradację biologiczną (np. tek czy azobé) lub też rodzimych gatunków drzew liściastych (np. dąb), jednak nie we wszystkich przypadkach jest to możliwe. Przy dużych rozpiętościach, gdy zachodzi konieczność zastosowania drewna klejonego, drewna drzew tropikalnych i liściastych nie znajdują zastosowania, ze względu na słabe wiązanie z klejami, wynikające z dużej zawartości substancji oleistych, które zabezpieczają drewno przed szkodnikami. W takim przypadku dobrym rozwiązaniem jest technologia impregnacji drewna Accoya®.

Drewno Accoya® jest to drewno sosny kalifornijskiej poddawane procesom modyfikacji opracowanych przez Accsys Technologies [6]. W procesach tych grupy hydroksylowe w ścianach komórek drewna zastępowane są przez grupy acetylowe, które ze względu na swoją hydrofobowość zapobiegają wnikaniu wilgoci do drewna. Brak dostępu wilgoci ogranicza pęcznienie drewna oraz uniemożliwia rozwój grzybów. Drewno staje się twardsze, co z kolei uniemożliwia penetrację korników. Drewno Accoya® zalicza się do 1 klasy trwałości o okresie użytkowania równym co najmniej 50 lat na powietrzu i 25 lat w ziemi lub wodzie.

W odróżnieniu od typowej impregnacji gdzie ochrona drewna zapewniana jest dla tarcicy o grubości do ok. 75mm, w przypadku zastosowania technologii Accoya® wymiary przekroju nie mają znaczenia. Wytrzymałość nieznacznie się zmienia, podczas gdy twardość się znacząco zwiększa, a samo drewno jest mniej podatne na zmiany kształtu (pęcznienie, wysychanie).

Drewno pozostaje nadal materiałem biodegradowalnym, niezanieczyszczającym środowiska, o dużej odporności na działanie promieni UV, o naturalnej kolorystyce odpowiadającej danemu gatunkowi drzew.

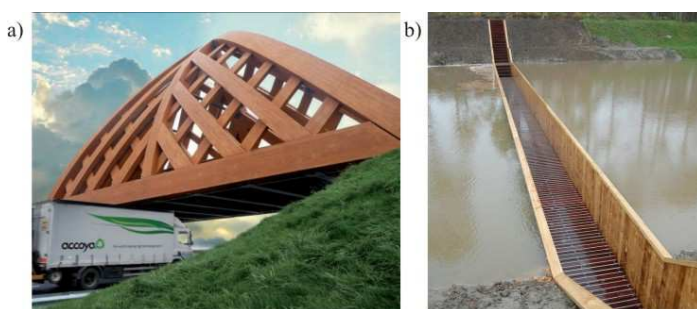
Drzewo sosny kalifornijskiej zaimpregnowane Accoya® uzyskuje podobną twardość i odporność na grzyby jak drewno drzew tropikalnych, cały czas łatwo poddając się procesom klejenia. Mała podatność na spaczenie i pęcznienie dodatkowo zapewnia lepszą jakość drewna klejonego, aniżeli naturalnego drewna iglastego.

Przeprowadzone testy eksperymentalne [1], [3] pokazują, że drewno lite Accoya® posiada właściwości odpowiadające klasie C24 według [9], zaś pię-

ciowarstwowe drewno klejone Accoya® zawiera się w klasach GL24 do GL32 według [12] przy zastosowaniu tarcicy klasy C27-C35. Jednak według [1], [6] zaleca się przyjmowanie charakterystyk odpowiadających klasie GL24h. Współczynniki  $k_{mod}$  i  $k_{def}$  zaleca się przyjmować jak dla drewna w 3 klasie użytkowania według [11].

Pierwszym obiektem, w którym wykorzystano drewno Accoya®, był wzniesiony w roku 2008 most w Sneek w Holandii (rys. 3a) o rozpiętości 32 m. Trwałość konstrukcji określono na 80 lat. Drugi bliźniaczy most został wzniesiony 2 lata później.

Innym przykładem wykorzystania omawianej technologii jest przeprawa przez ciek wodny w Fort de Roovere w Holandii. Konstrukcja jest ukryta w wodzie, górna jej krawędź znajduje się kilka centymetrów ponad lustrem wody (rys. 3b). Ze względu na swoją konstrukcję nazywana jest mostem Mojżesza.

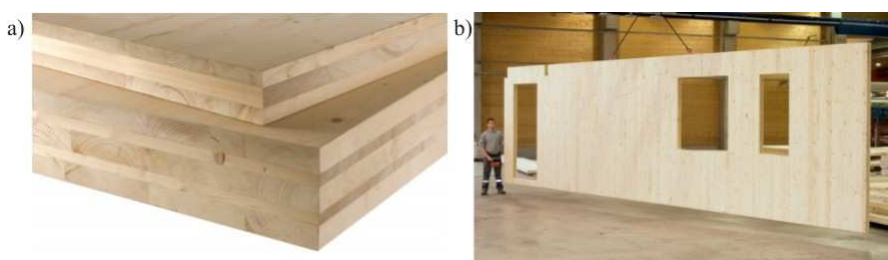


Rys. 3. Konstrukcje z drewna Accoya®: a) most w Sneek [6], b) most Mojżesza [13]

Fig. 3. Construction using Accoya® wood: a) Sneek's bridge [6], b) Moses bridge [13]

### 3.2. Panele CLT

Cross laminated timber (CLT), nazywany czasami także XLams jest to ustrój wykonany z elementów drewnianych klejonych warstwami pod kątem  $90^\circ$ . Minimalna liczba warstw wynosi trzy (rys. 4).



Rys. 4. Panele CLT: a) warstwy, b) ściana w skali naturalnej [2]

Fig. 4. Cross laminated timber: a) layers, b) full-scale wall diaphragm [2]

Ze względu na zastosowanie w panelach CLT diagonalnego ułożenia tarcicy drewnianej otrzymuje się element konstrukcyjny o bardzo wysokiej wytrzymałości i sztywności we wszystkich kierunkach, w odróżnieniu do litego drewna, w którym duża wytrzymałość odnosi się tylko do kierunku wzdłuż włókien.

Panele CLT produkuje się z reguły o wymiarach do 2950mm wysokości i długości 16000mm. Poszczególne warstwy wykonane są z drewna litego klasy C18 do C24, zaś całkowita grubość panelu wynosi do 300mm [2].

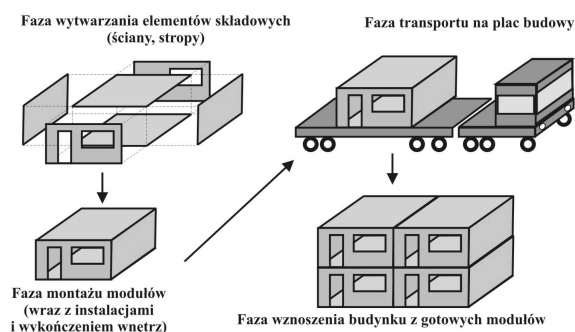
Duża przestrzenna nośność i sztywność pozwala zastosować elementy z CLT w różnego rodzaju konstrukcjach. Jako elementy stropowe w odróżnieniu do typowych stropów szkieletowych, mogą być stosowane jako elementy podparte na wszystkich krawędziach. Dobrze sprawdzają się jako elementy belkowe obciążone dużymi siłami, np. nadproża nad szerokimi otworami drzwiowymi lub okiennymi. W tradycyjnym budownictwie szkieletowym wykorzystywane są jako elementy usztywniające obiekt na działanie sił poziomych.

Badania doświadczalne [13] pokazały bardzo wysoką odporność obiektów wykonanych z paneli CLT na obciążenia sejsmiczne. Analizowano 7 piętrowy budynek w skali rzeczywistej pod obciążeniem modelującym oddziaływania podczas trzęsienia ziemi w Kobe w 1995 (7,2 stopnia w skali Richtera).

Łączniki, które są najsłabszym ogniwem obiektu wykonanego z paneli CLT wykazały dużą zdolność do rozproszenia energii od oddziaływań dynamicznych na cały budynek, równocześnie duża sztywność paneli ściennych i stropowych powodowała, że nie ulegały one destrukcji. Po ustaniu obciążeń wymuszających nastąpiło samo centrowanie budynku.

### 3.3. Budownictwo modułowe

Wznoszenie szkieletowych budynków drewnianych na placach budowy może generować pewne niedogodności. Montaż jest mocno uzależniony od warunków pogodowych, przestrzenna sztywność obiektu nie zawsze jest zadowalająca.



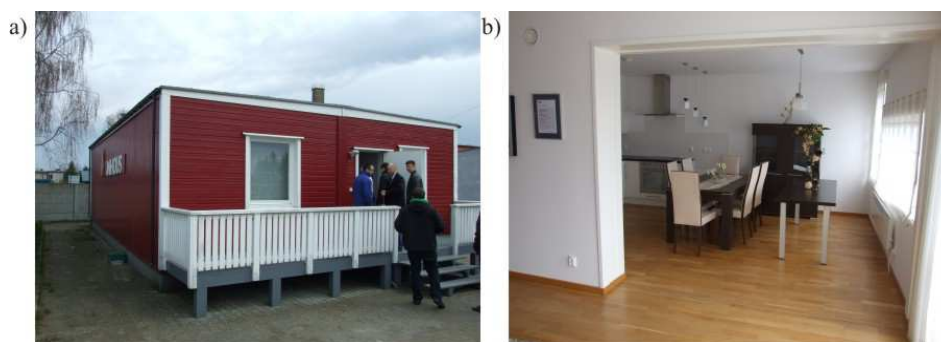
Rys. 5. Fazy wznoszenia budynków modułowych

Fig. 5. Phase of construction of modular buildings

Rozwiązaniem tego typu problemów jest prefabrykacja całych jego segmentów, czyli budownictwo modułowe. Proces wznoszenia budynku można podzielić na cztery fazy (rys. 5). Przy czym dwie pierwsze fazy realizowane są w zakładzie prefabrykacji, a tylko ostatnia na miejscu budowy.

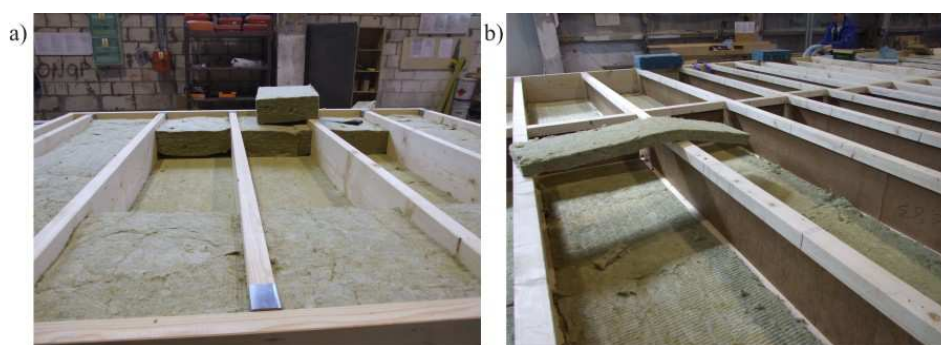
Moduły dostarczane na miejsce budowy są już w pełni wykończone od wewnątrz (podłogi, malowanie, glazura, meble), z poprowadzonymi w środku instalacjami (elektryczna, wodna, grzewcza). Wzniesienie kilkukondygnacyjnego budynku modułowego, łącznie z podłączeniem do instalacji, robotami wykończeniowymi zajmuje kilka dni, zaś same instalacje po ich podłączeniu mogą być uruchomione w ciągu kilku godzin.

Przykładem budownictwa modułowego są domy mieszkalne wytwarzane przez firmę UNIHOUSE z Bielska Podlaskiego, która produkuje takie obiekty wznoszone głównie w Norwegii (rys. 6a). Ze względu na łączenia w jednym segmencie mieszkalnym dwóch modułów, ściana wewnętrzna jest podwójnej grubości w stosunku do ściany zewnętrznej (rys. 6b).



Rys. 6. Modelowy domu modułowy firmy UNIHOUSE: a) widok, b) widok wnętrza

Fig. 6. A model modular home UNIHOUSE company: a) view, b) view of the interior



Rys. 7. Elementy konstrukcji budynków modułowych: a) ściana, b) strop

Fig. 7. Elements of the construction of modular buildings: a) wall, b) floor

Ściany, stropy oraz dach wykonane są jako elementy drewniane szkieletowe. W przypadku ścian zarówno słupki jak i rygle poziome wykonano o przekroju pełnym z litego drewna (rys. 7a), natomiast w elementach poziomych tylko belki obwodowe są o przekroju pełnym, zaś belki nośne wykonane są jako belki dwuteowe o półkach z drewna litego oraz ze środkiem z twardej płyty pilśniowej (rys. 7b). Przekrój dwuteowy zapewnia odpowiednią nośność oraz łatwość poprowadzenia instalacji wewnętrznych.

Budynki te można wznosić w dowolnych warunkach atmosferycznych, przy braku odpadów na placu budowy. Czas realizacji jest zdecydowanie krótszy niż w przypadku tradycyjnych budynków szkieletowych. Obiekty te charakteryzują się doskonałą izolacyjnością cieplną i przyjaznym klimatem wewnętrznym. Dodatkową zaletą jest możliwość demontażu obiektu i przeniesienie go w nowe miejsce.

#### 4. Wnioski

Dostęp do różnorodnych gatunków drzew, jak również do najnowocześniejszych technologii konstruowania obiektów wykonanych z drewna, pozwala na coraz śmielsze projektowanie obiektów. To co dotychczas wydawało się, że jest zarezerwowane tylko dla stali i żelbetu, staje się możliwe także przy wykorzystaniu drewna. Dzięki zastosowaniu paneli CLT, impregnacji Accoya® czy modułowego budownictwa możliwe staje się wznoszenie obiektów o coraz większych rozpiętościach i wysokościach, przy zapewnieniu odpowiednich nośności i sztywności. Równocześnie lekkość tych konstrukcji i szybkość ich montażu powoduje, że stają się rzeczywistą alternatywą dla konstrukcji żelbetowych, stalowych czy też wznoszonych w technologii tradycyjnej.

#### Literatura

- [1] Bongers F., Alexander J., Marcroft J., Crawford D., Hairstans R.: Structural design with Accoya wood, *International Wood Products Journal*, vol. 4, no 3, 2013, pp 172–176.
- [2] Building with cross laminated timber. Load-bearing solid wood components for walls, ceilings and roofs, Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. Wuppertal, Germany 2010.
- [3] Crawford, D., Hairstans, R., Alexander. J., Bongers, F.: Assessment of the structural performance of Accoya® wood, *Proceedings of the 12th World Conference on Timber Engineering*, July 15– 19, 2012, Auckland, New Zealand.
- [4] Długotrwałe amerykańskie drewno liściaste. Przewodnik gatunków drewna. American Hardwood Export Council, <http://americanhardwood.org/pl/>.
- [5] Dujic B., Strus K., Zarnic R., Ceccotti A.: Prediction Of Dynamic Response of a 7-Storey Massive Xlam Wooden Building Tested On a Shaking Table, W: 11th World Conference on Timber Engineering, Riva del Garda, Trentino, Italy, 2010.
- [6] Lawrence A., Marcroft J., Crawford D., Hairstans R.: Accoya® - modified wood by Accsys Technologies – Structural Design Guide to Eurocode 5, Accoya Folder, Accsys Technologies, 2012.

- [7] Structural Design in American Hardwoods. American Hardwood Export Council, London 2005.
- [8] Williams, R. S., Miller R.: Characteristics of Ten Tropical Hardwoods from Certified Forests in Bolivia, Wood and Fiber Science, vol. 33, no 4, 2001, pp. 618–626.
- [9] PN-EN 338:2011. Drewno konstrukcyjne – Klasy wytrzymałości.
- [10] PN-EN 350-2:2000P. Trwałość drewna i materiałów drewnopochodnych. Naturalna trwałość drewna litego. Wytyczne dotyczące naturalnej trwałości i podatności na nasycanie wybranych gatunków drewna mających znaczenie w Europie.
- [11] PN-EN 1995-1-1:2010. Eurokod 5 - Projektowanie konstrukcji drewnianych – Część 1-1: Postanowienia ogólne – Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków.
- [12] PN-EN 14080:2013-07E. Konstrukcje drewniane – Drewno klejone warstwowo i drewno lite klejone warstwowo – Wymagania.
- [13] Foto ©: Forgemind ArchiMedia, <http://www.flickr.com/photos/eager/7669587888/>, licencja CC BY 2.0
- [14] Foto ©: TCY, [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Passerelle\\_Léopold-Sédar-Senghor.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Passerelle_Léopold-Sédar-Senghor.jpg), licencja CC BY-SA 3.0
- [15] Foto ©: murky, <http://www.flickr.com/photos/murky/44112699>, licencja CC BY-NC-ND 2.0

## USE OF NON-STANDARD MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN BUILDINGS AND FACILITIES WITH WOODEN CONSTRUCTION

### Summary

The paper presents an overview of some tropical tree species as Teak or Azobé and hardwood (American White Oak ) which can be used as a construction material in place of the commonly used softwood timber. There were presented characteristics of selected wood species and examples of the application in completed structures. In the following of the paper there were presented selected technologies allowing to improve durability and strength of timber structures as well as allowing for shorten the time necessary to erect the buildings. There were discussed Accoya® Technology impregnation, CLT panels and modular buildings.

Accoya® technology by the chemical processes allows for replacing in wood groups responsible for absorption of the water in the wood cell walls by other groups with hydrophobic characteristics. This process helps to reduce the moisture content of the wood, causing a simultaneous increase in hardness and resilience of softwood to the level corresponding to hardwood while maintaining the rest of original features of softwood under modification. The use of CLT (cross laminated timber) panels allows to avoid the negative feature of wood, which is the strength perpendicular to grain. The panels are made of glued wood board layers glued at right angles, thereby obtaining a structural member with high rigidity and strength in all directions. The time needed to erect a construction can be significantly reduced using modular buildings. The buildings are constructed of finished modules fully fitted inside, made in prefabrication factories.

**Keywords:** hardwood, Accoya® wood, CLT (cross laminated timber), modular building

DOI:10.7862/rb.2014.73

*Przesłano do redakcji: 18.11.2014 r.*

*Przyjęto do druku: 16.12.2014 r.*