

EWOLUCJA SYSTEMÓW KONSTRUKCJI DREWNIANYCH BUDYNKÓW WIELOKONDYGNACYJNYCH

Marta NAZARCZUK*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok

Streszczenie: W pracy zaprezentowano ewolucję konstrukcji drewnianych budynków wielokondygnacyjnych na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat. Opisano konstrukcje szkieletowe prefabrykowane, w tym modułowe, konstrukcje z drewna CLT oraz mieszane. Zamieszczono też przegląd nowych materiałów na bazie drewna oraz łączników

Słowa kluczowe: konstrukcje drewniane, konstrukcje szkieletowe prefabrykowane, budynki wielokondygnacyjne.
doi: 10.24427/bis-2018-vol9-no4-0002

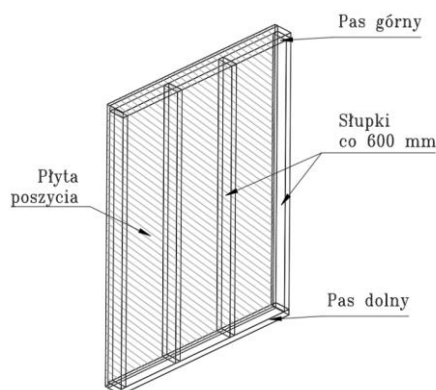
1. Wprowadzenie

Konstrukcje drewniane są jednym z najstarszych rodzajów budownictwa. Są wykonane z naturalnego materiału, który od zawsze był dostępny człowiekowi. W pewnym okresie zostały w dużej mierze porzucone na rzecz cegły, betonu zbrojonego i stali. Nadal w naszym kraju drewno w budynku najbardziej kojarzy się z więźbą czy dźwigarem dachowym, jednakże ten stan zaczyna się powoli zmieniać. Domy z tego surowca nikogo nie dziwią w krajach skandynawskich, USA czy Kanadzie, gdzie jest to znany i popularny rodzaj budownictwa. Polska natomiast jest teraz w miejscu, w którym świadomość w tej kwestii zaczyna się zmieniać. Coraz chętniej inwestorzy rozpatrują drewno jako główny materiał konstrukcyjny do budowy mieszkań, hoteli czy też innych rodzajów obiektów. Na pewno przyczynił się do tego postęp technologiczny w zakresie takiego budownictwa. Istnieją w Polsce firmy, które od lat sprzedają budynki drewniane do innych państw. Mamy więc w kraju doświadczenie na tym polu i zaczyna być to doceniane, głównie też dlatego, że taką konstrukcję najczęściej się prefabrykuje, co pozwala zaoszczędzić czas i koszty robocizny, która staje się coraz droższa. Celem artykułu jest przedstawienie zmian, jakie zaszły w konstrukcjach drewniane w ostatnich latach.

2. Tradycyjne budownictwo szkieletowe

Konstrukcja szkieletowa jest najbardziej popularnym systemem wśród budynków drewnianych. Głównymi jej elementami są ściany i stropy. Ściana składa się ze słupków konstrukcyjnych o rozstawie zazwyczaj 0,6 m

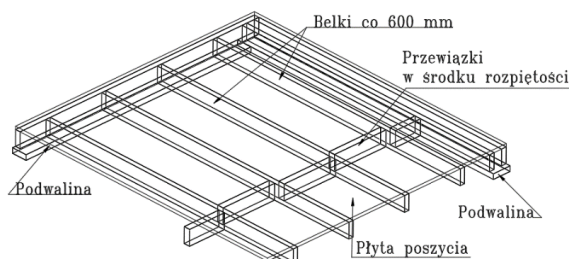
i pasów górnych i dolnych. Elementy te mogą być wykonane z drewna litego, KVH, klejonego czy też LVL. Są one poszyte zwykle jednostronnie płytą konstrukcyjną (rys. 1). Najpopularniejsza w tej roli jest płyta OSB ze względu na stosunek ceny do jakości, ale stosowane są również sklejki, płyty wiórowe, a nawet konstrukcyjne płyty gipsowe, co jest dość nowym zjawiskiem, możliwym dzięki rozwojowi technologicznemu. Od strony wewnętrznej ścianę pokrywa się przeważnie płytami gipsowo-kartonowymi, które spełniają rolę suchego tynku, ale przede wszystkim zabezpieczają konstrukcję przed niszczącym działaniem ognia. Przestrzenie pomiędzy słupkami wypełnia się szczelnie izolacją termiczną, zazwyczaj w postaci wełny mineralnej, która jest kolejnym elementem ważnym z punktu widzenia ochrony przeciwpożarowej. Dzięki jej współpracy z płytami gipsowymi stwarza się układ, którego odporność ogniowa może wynosić nawet REI 120.



Rys. 1. Ściana szkieletowa drewniana z poszyciem (źródło: Unihouse)

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: mnazarczuk@unihouse.pl

Strop natomiast składa się z belek konstrukcyjnych posytych płytami poszycia (rys. 2). Legary mogą być w formie drewna litego, klejonego, czy też belek dwuteowych – te ostatnie cechują się dobrą wytrzymałością przy bardzo niskiej masie. Współpraca poszycia z konstrukcją sprawia, że ściany pracują jak tarcze, a stropy jak płyty, co jest bardzo ważne z punktu widzenia przenoszenia obciążeń poziomych.



Rys. 2. Strop szkieletowy drewniany z poszyciem (źródło: Unihouse)

Konstrukcja szkieletowa jest lekka i pozwala na niewielkie zużycie drewna – tak naprawdę w całym budynku zbudowanym w tej technologii ten surowiec zajmuje około 25% przestrzeni. Najcięższymi elementami w tym przypadku są płyty gipsowe. Dzięki wykorzystaniu miejsca między słupkami i belkami otrzymuje się mniejsze przekroje przegród zewnętrznych niż w przypadku konstrukcji tradycyjnych. Ma to szczególne znaczenie w przypadku zastrzonych wymagań energetycznych, na przykład przy projektowaniu budynków pasywnych czy zeroenergetycznych. W początkach stosowania był to system, który budowano bezpośrednio w miejscu przeznaczenia. W USA nadal spotyka się domy robione w ten sposób. Ma to niestety swoje wady – drewno narażone jest na warunki atmosferyczne, co później skutkuje wieloma problemami. Dlatego dzisiaj konstrukcje takie się prefabrykuje – w formie paneli lub w formie modułów.

2.1. Budownictwo szkieletowe panelowe

Konstrukcja szkieletowa w dzisiejszych czasach powinna być poddawana prefabrykacji. Dzięki temu można zabezpieczyć ją przed szkodliwym wpływem warunków atmosferycznych – zbyt wilgotne drewno jest podatne na pleśń oraz gnicie, co grozi nawet katastrofą budowlaną, a w najmniej groźnym przypadku jest po prostu szkodliwe dla zdrowia. Poza tym prefabrykacja pozwala na uzyskanie wysokiej jakości. Najprostszą jej metodą jest budownictwo panelowe. Ściany i stropy produkuje się jako płyty, które potem montuje się na placu budowy i tworzy z nich budynek (rys. 3).



Rys. 3. Budowa budynku w technologii panelowej (Źródło: Unihouse)

Jest to możliwe dzięki technologii – używa się maszyn, które obrabiają drewno, a następnie urządzeń, które zbijają panele. Proces jest skomputeryzowany i odbywa się na bazie projektu warsztatowego „przetłumaczonego” na pliki CNC. Aby to było możliwe potrzebny jest sztab wyspecjalizowanych osób. Nie ma też miejsca na błędy, ponieważ wszystko odbywa się szybko, a ewentualne poprawki spowalniają proces produkcyjny.

2.2. Budownictwo modułowe

Najbardziej skomplikowaną formą konstrukcji szkieletowej jest budownictwo modułowe. Moduł jest tu rozumiany jako jednostka przestrzenna, składająca się z elementów panelowych ściennych i stropowych (rys. 4a). Następnie na placu budowy składany jest z nich cały budynek (rys. 4b).

Można to przyrównać do budowy z klocków. Proces ten jest szybki, do minimum ograniczona jest też ekspozycja na warunki atmosferyczne, ponieważ większość prac jest wykonywana w warunkach fabrycznych. W środku moduły są w pełni wykończone i nawet wyposażone w kuchnie i łazienki. Wszystkie instalacje są już ukryte w poszczególnych panelach. Na budowie zostaje jedynie wykończenie miejsc połączeń poszczególnych jednostek. W dużym stopniu poprawia to jakość końcową. Ten rodzaj budownictwa jest nowy,

więc opiera się w głównej mierze na know-how przedsiębiorstw zajmujących się tą technologią – wiedzy na ten temat na próżno szukać w książkach. Istnieje w tym zakresie duże pole do badań, w szczególności w zakresie przekazywania się obciążeń poziomych pomiędzy poszczególnymi modułami. Trzeba też mieć świadomość, że każdy moduł przed wbudowaniem jest samodzielną jednostką, która podlega wielu obciążeniom dynamicznym w trakcie podnoszenia, montażu, a także podczas transportu.

a)



b)



Rys. 4. Budynki drewniane modułowe (Źródło: Unihouse): a) w technologii szkieletu drewnianego, b) w trakcie budowy

3. Nowe materiały na bazie drewna i łączniki

Dzisiaj projektanci mają do wyboru nie tylko drewno lite czy KVH. Są dostępne bardziej wytrzymałe materiały, z których najczęściej używane jest drewno klejone, LVL, belki dwuteowe czy też CLT. Rozwinęła się też technologia łączników, które stanowią mały, aczkolwiek bardzo ważny element budynków drewnianych.

3.1. Nowe materiały

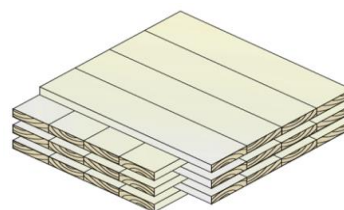
Bez rozwoju technologii materiałowych niemożliwy byłby rozwój budynków drewnianych. Drewno lite nadal jest

podstawą, ale można je wykorzystać do produkcji bardziej wytrzymałych elementów. Dzięki temu można było wyeliminować niektóre wady surowca podstawowego. Pierwszym materiałem jest drewno klejone. Powstaje ono z desek grubości kilku centymetrów sklejonych ze sobą równolegle. Właściwości wytrzymałościowe są takie jak drewna litego, jednakże można uzyskać elementy dłuższe o zdecydowanie większych przekrojach, a do tego bardziej smukłe. Daje to możliwość robienia stropów czy konstrukcji dachowych o rozpiętościach wcześniej osiągalnych tylko dla żelbetu czy stali. Można też wykonywać słupy przenoszące ciężar kilkunastu kondygnacji. Technologia wykonywania drewna klejonego pozwala też na wprowadzanie krzywizny przekroju, a także zmiany jego wysokości, w związku z czym jest to materiał atrakcyjny pod względem wizualnym, bo da się wprowadzać belki w kształcie łuków lub o przekroju trapezowym (rys. 5), co z kolei daje też oszczędności materiałowe – element jest najgrubszy w miejscu najbardziej wyłożonym.



Rys. 5. Przykładowa konstrukcja z drewna klejonego (Porteous i Kermani, 2007)

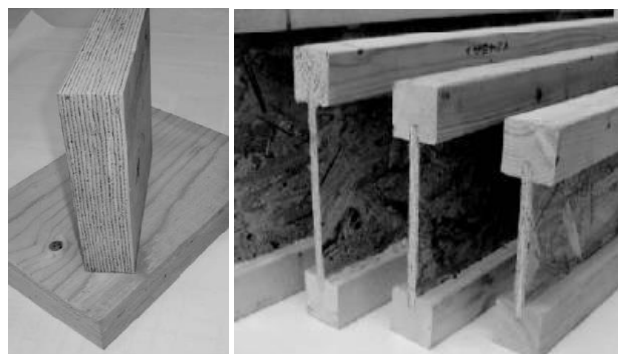
Podobne do drewna klejonego jest drewno CLT (*Cross Laminated Timber* – drewno klejone krzyżowo). Są to płyty z desek klejonych warstwowo, przy czym każda warstwa jest obrócona względem siebie pod kątem 90° (rys. 6). Panel zawsze składa się z nieparzystej liczby warstw. Dzięki temu otrzymuje się materiał zapewniający wielokierunkową pracę. Zwiększając grubość takiego elementu, otrzymujemy dodatkowo ścianę czy strop o dobrej nośności ogniowej – zwęgleniu ulegają wierzchnie warstwy, które należy wyrzucić z obliczeń nośności w sytuacji pożarowej.



Rys. 6. Płyta z drewna klejonego krzyżowo (FPInnovations, 2011)

Jeszcze bardziej wytrzymałym materiałem jest drewno LVL (*Laminated Veneer Lumber*). Powstaje w procesie warstwowego klejenia ze sobą fornirow drewnianych grubości kilku milimetrów (rys. 7). Dzięki temu można uzyskiwać bardzo smukłe przekroje o wytrzymałości około dwóch razy większej niż drewna litego. Duża zawartość kleju natomiast przekłada się na bardzo małe zmiany wymiarów przekroju ze względu a wahania wilgotności, co jest zauważalnym problemem w przypadku wielokondygnacyjnych budynków z drewna litego, gdzie przy jednoprocentowej zmianie wilgotności następuje około 0,25% zmiany wymiaru przekroju poprzecznego. W trakcie normalnego procesu budowlanego wahania zawartości wody w drewnie są na poziomie kilku procent, przy czym nie można założyć, że element po wbudowaniu wysycha do pewnego poziomu i zostaje już w tym stanie na zawsze – w przypadku belek czy słupków położonych blisko środowiska zewnętrznego, wilgotność względna ulega ciągłym zmianom, których efektem jest ciągła modyfikacja wymiarów tychże elementów. Stosowanie drewna LVL pomaga w eliminacji tego problemu.

Kolejnym materiałem zasługującym na uwagę są drewniane belki dwuteowe (rys. 7). Ich stopki wykonane są z drewna LVL lub litego, a środniki z twardej płyty pilśniowej lub z płyty OSB. Ich zaletą jest duża nośność w stosunku do masy. Świetnie sprawdzają się w stropach budynków prefabrykowanych, gdzie na etapie produkcji występuje potrzeba przeprowadzania w belkach instalacji sanitarnych. Przy rurach kanalizacyjnych potrzebne są otwory średnicy około 10 cm, niejednokrotnie też w pojedynczej belce trzeba zrobić kilka takich przejść. Jest to dość bezpieczne w przypadku belek z cienkim środnikiem, oczywiście przy zachowaniu odpowiednich zasad – nie mogą one się znajdować w strefach przypodporowych, do tego w przypadku otworów większych niż zalecane przez producenta, należy przeprowadzić specjalną analizę obliczeniową ETA-06/0238. Elementy dwuteowe świetnie sprawdzają się też w przegrodach zewnętrznych, ponieważ powierzchnia ich przekrojów jest mniejsza niż przekrojów prostokątnych, w związku z czym można uzyskać lepsze wartości współczynnika przenikania ciepła przy tej samej grubości przegrody.

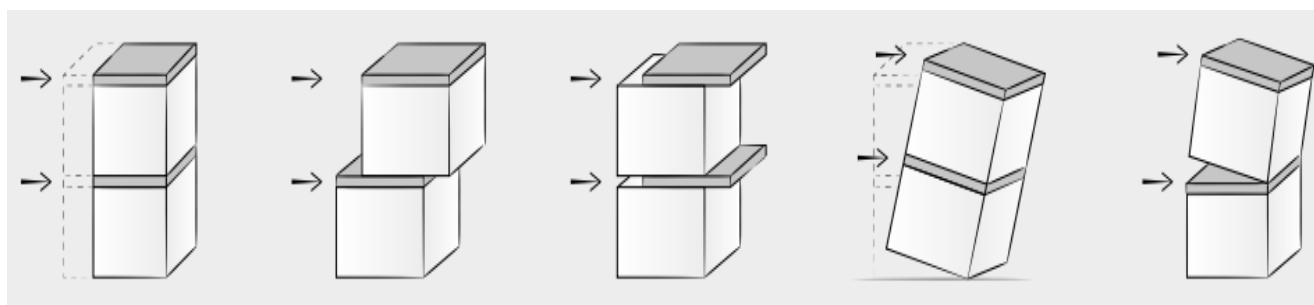


Rys. 7. Element z drewna LVL i belki drewniane dwuteowe (Porteous i Kermeni, 2007)

3.2. Łączniki

Bardzo ważnym elementem budynków drewnianych są łączniki. Mimo że stanowią one niewielką część całego obiektu, często są krytycznymi elementami, szczególnie w przypadku konstrukcji wielkowymiarowych. Przy budynkach szkieletowych występuje dużo połączeń – najpierw trzeba zbić ze sobą elementy konstrukcyjne każdego panelu, co robi się za pomocą gwoździ lub wkrętów, a następnie zamocować do nich poszycie zszywkami, gwoździami lub wkrętami. Analiza obliczeniowa jest tutaj bardzo ważna, ponieważ łączniki poszycia są odpowiedzialne za współpracę płyt z belkami lub słupkami i to one tak naprawdę zapewniają prawidłową pracę paneli przy obciążeniach poziomych. Następnie panele należy połączyć ze sobą, a w przypadku konstrukcji modułowej dodatkowo zespolić ze sobą poszczególne jednostki przestrzenne. Dla obiektu występuje kilka możliwych mechanizmów zniszczenia z uwagi na nieodpowiedni dobór łączników: przesunięcie całego budynku w poziomie fundamentów, przesunięcie się poszczególnych pięter między sobą, przesunięcie się stropów względem ścian, podrywanie całego budynku oraz podrywanie poszczególnych pięter (rys. 8).

Wszystkie te mechanizmy są spowodowane przez działanie obciążeń poziomych, które z racji niewielkiej masy budynku drewnianego powinny być rozpatrywane z należytą uwagą. Przy połączeniu z fundamentem ważny jest rodzaj budynku – jeżeli obiekt nie jest w pełni



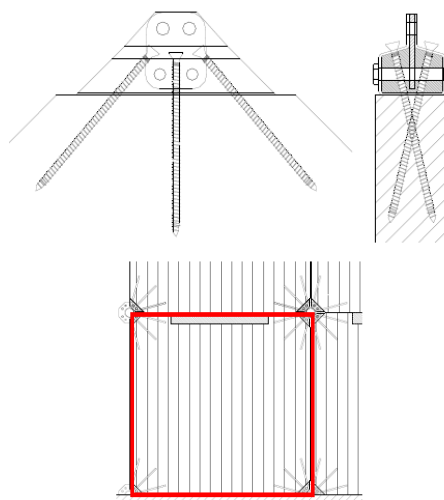
Rys. 8. Możliwe mechanizmy zniszczenia budynku drewnianego (Źródło: Rothoblaas)

sprefabrykowany, najprościej połączyć podwaliny z żelbetem za pomocą kotew. Tam, gdzie nie ma bezpośredniego dostępu do podwaliny, stosuje się specjalne kątowniki mocowane do części drewnianej gwoździami lub wkrętami, a do żelbetowej kotwami (rys. 9). Połączenie między piętrami realizowane jest w ten sam sposób, przy czym zamiast kotew używa się wkrętów. Obliczenia tego rodzaju łączników wykonywane są według normy PN-EN 1995-1-1:2010. *Eurokod 5. Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne. Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków* w połączeniu z zaleceniami producentów, którzy niejednokrotnie posiadają aprobaty techniczne na swoje produkty, gdzie znajdują się procedury obliczeniowe i niezbędne dane wytrzymałościowe. Ważne jest uwzględnienie sił podrywających, które przy wielokondygnacyjnych budynkach osiągają duże wartości. Podstawowymi łącznikami w tym zakresie są wkręty, jednak przy dużych obciążeniach nie są one wystarczające. Ciekawym rozwiązaniem są tak zwane *tie down rods*. Są to stalowe pręty idące przez całą wysokość budynku i kotwione do fundamentu, spinając ze sobą poszczególne elementy i zapobiegając podrywaniu (rys. 9).



Rys. 9. Kątownik do łączenia z fundamentem (Źródło: Rothoblaas) oraz *tie down rod* (Źródło: Simpson Strong-Tie)

Najwięcej nowości w kwestii połączeń pojawia się przy konstrukcjach z CLT, głównie z uwagi na fakt, że są one używane do budowy obiektów wysokich, przy stropach o dużych rozpiętościach. Są to na przykład łączniki typu X-Rad, które są wykonane ze stalowej obudowy, kryjącej w środku element z twardego drewna, przez który przechodzą wkręty gwintowane na całej długości (rys. 10). Można dzięki temu połączyć ze sobą na raz do czterech elementów, do tego wkręty pracują na rozciąganie, a nie jak zazwyczaj na ścinanie.



Rys. 10. Łączniki typu X-Rad (Polastri i Angeli, 2014)

4. Budynki z drewna CLT

Największą dynamiką rozwoju obecnie cechuje się budownictwo z drewna CLT. Płyty z tego materiału cechują się zdecydowanie większą wytrzymałością niż panele szkieletowe, dlatego chętnie są używane do budowy wyższych budynków. W tej chwili mamy postępującą urbanizację – coraz więcej ludzi przeprowadza się do miast (Kuttler, 2001), jednakże w tym samym czasie brakuje miejsca pod nowe inwestycje. Jest to powodem rosnącej popularności budynków wysokich. Biorąc pod uwagę również kwestie ekologiczne, CLT staje się przez te dwa czynniki coraz bardziej popularne. Jednym z przykładów takich budynków są akademiki Moholt 50/50 wybudowane w Trondheim w Norwegii przez firmę Veidekke (rys. 11). Jest to kompleks 5 budynków, z których każdy ma po 9 kondygnacji, z czego parterowa jest zrobiona z żelbetu, a reszta z drewna klejonego krzyżowo.



Rys. 11. Akademiki Moholt 50/50 (źródło: Veidekke)

Niestety obowiązująca norma PN-EN 1995-1-1:2010 do projektowania konstrukcji drewnianych nie mówi nic o tym rodzaju budownictwa. Chcąc projektować takie budynki, trzeba opierać się na wytycznych producentów lub dostępnej literaturze (FPInnovations, 2011), która

opiera się na badaniach. Przykładem takich testów może być projekt SOFIE, gdzie badano wytrzymałość na obciążenia sejsmiczne 7-kondygnacyjnego budynku w skali naturalnej (rys. 12), wykonanego z drewna klejonego krzyżowo (Ceccotti i in., 2013).



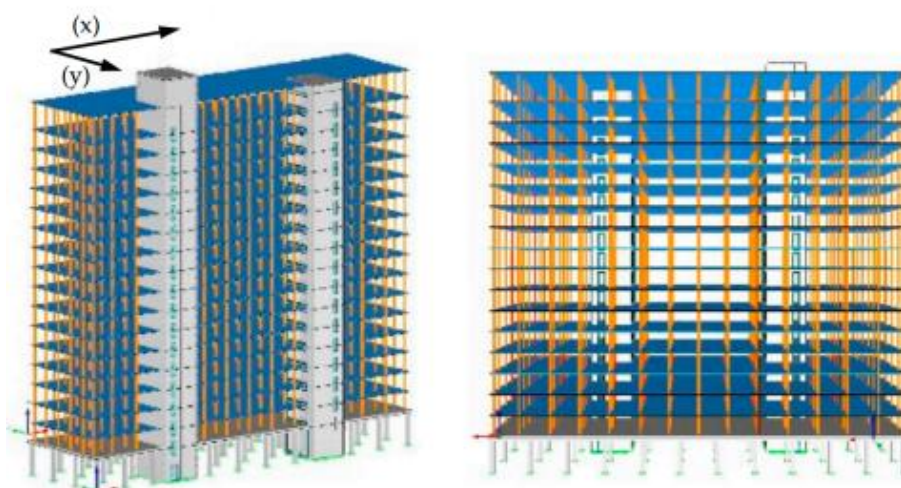
Rys. 12. Budynek testowy, projekt SOFIE (FPInnovations, 2011)

Z punktu widzenia projektanta konstrukcji, CLT jest bardzo atrakcyjne – model obliczeniowy składa się z płyt, więc implementacja rozwiązań do programów obliczeniowych jest stosunkowo prosta, tym bardziej że dostępne są biblioteki różnych producentów tego rodzaju drewna. W przypadku konstrukcji szkieletowej wykonanie przydatnego modelu jest bardzo trudne, ponieważ panel składa się z wielu współpracujących ze sobą elementów i bez dokładnych badań ciężko jest założyć właściwe wartości wyjściowe modelu. Jednakże z ekonomicznego punktu widzenia CLT nie jest idealnym rozwiązaniem – cena jest widocznie wyższa w porównaniu do konstrukcji szkieletowej, więc w tym momencie to drewno zarezerwowane jest dla wyższych budynków, gdzie dużą rolę grają kwestie ekologiczne lub konieczny

jest szybki montaż, ponieważ w dalszym ciągu koszt budowy takich budowli jest większy niż obiektów wybudowanych w technologiach tradycyjnych. Często też inwestorzy decydują się na ten rodzaj konstrukcji ze względów estetycznych. Duże, odsłonięte powierzchnie naturalnego drewna tworzą ciepłe, przyjazne wnętrza. Nie jest to jednak często możliwe – musimy pamiętać o kwestiach akustycznych oraz pożarowych. Zazwyczaj i tak panele muszą być zakryte, ponieważ aby uzyskać wymagane parametry akustyczne stropów, często jego górna część jest pokrywana warstwą betonu, a dolna sufitem podwieszanym. Ściany z kolei zakrywa się wełną mineralną, która tłumi dźwięki i pokrywa się je płytami gipsowymi, aby uniemożliwić rozprzestrzenianie ognia przez drewno. Oczywiście możliwe jest częściowe pominięcie tych zabiegów, lecz wymaga to specjalnych badań, przede wszystkim w zakresie przeciwpożarowym. Beton na powierzchni paneli stropowych pełni też inną ważną rolę – zwiększa masę budynku. Obiekty z drewna są bardzo lekkie, więc przy wyższych budowlach ich zachowanie dynamiczne jest niezadowalające. Beton jest wtedy najlepszym rozwiązaniem, bo poprawia zarazem właściwości akustyczne stropu.

5. Budynki o konstrukcji mieszanej

Przy budynkach wysokich zasadne staje się mieszanie różnych rodzajów konstrukcji drewnianych. Najczęściej najprawdopodobniej używa się systemu słupowo-płytowego, gdzie rolę stropów pełnią panele z drewna CLT, a słupy wykonane są z drewna klejonego. Obciążenia poziome przejmuje żelbetowy trzon. Takie rozwiązanie przy dużych budynkach jest tańsze niż układ z pełnymi ścianami konstrukcyjnymi, ponieważ na słupy zużywa się mniej drewna. Do tego można stworzyć duże, nieograniczone przestrzenie, a elewacje mogą być wykonane z eleganckiego szkła. Przykładem takiego budynku może być 18-piętrowy Brock Commons w Vancouver w Kanadzie, którego model konstrukcji pokazano na rysunku 13.



Rys. 13. Model konstrukcji 18-piętrowego budynku Brock Commons (Connolly i in., 2018)

Nietypowym rozwiązaniem budynku o konstrukcji mieszanej jest 14-kondygnacyjny Treet w Bergen w Norwegii. Konstrukcję nośną stanowi kratownica z drewna klejonego pokryta panelami szklanymi. Obciążenie wiatrem poprzez panele elewacyjne przekazywane jest na kratownicę, która stanowi główny układ nośny. Na piątym i dziesiątym piętrze ulokowane jest stężenie kratowe oraz żelbetowy strop usztywniający (Bjertnæs i Malo, 2014), który jednocześnie stanowi platformę dla kolejnego elementu tego budynku – modułów w technologii szkieletu drewnianego. Są one ustawiane w następujący sposób: na żelbetowej części są ustawione 4 moduły, następnie na piątym poziomie usztywniającym moduły są zamocowane do kratownicy i nie obciążają jednostek dolnych (Abrahamsen i Malo, 2014). Na kolejnej żelbetowej części jest to zrobione w identyczny sposób. Dzięki temu moduły przenoszą jedynie swój ciężar. W środku budynku znajduje się trzon z drewna CLT, jednakże nie przenosi on żadnych obciążeń poziomych. Na rysunku 14 pokazano widok konstrukcji i widok 3D tego obiektu.

6. Podsumowanie

Konstrukcje drewniane są w trakcie dynamicznego rozwoju. Dzieje się tak głównie dlatego, że materiał ten jest stworzony do prefabrykacji, a także dlatego, że coraz ważniejsze w procesie budowlanym stają się kwestie ekologiczne, a drewno bez wątpienia wpisuje się w ten obraz poprzez swoją naturalność. Popyt na ten rodzaj budownictwa sprawia, że firmy działające w tym obszarze coraz częściej inwestują w nowe rozwiązania, aby zapewnić sobie przewagę rynkową. Dzięki temu możliwe stały się rozwiązania przytoczone w powyższym artykule. Rosnąca potrzeba budowy coraz wyższych obiektów z pewnością przyspieszy ten rozwój i zapewne

w przyszłości możemy spodziewać się coraz śmielszych realizacji. Ważne jest, aby uświadomić sobie, jaką drogę przeszło budownictwo drewniane, aby możliwe było zmieniienie nastawienia inwestorów w naszym kraju do tego rodzaju konstrukcji. Jeśli tak się stanie, będzie to korzystne dla nas wszystkich – wokół powstaną obiekty bardziej ekologiczne i naturalne.

Prawdopodobnie przyszłością tego budownictwa są konstrukcje hybrydowe, mądrze wykorzystujące współpracę drewna z elementami stalowymi czy betonowymi. Pozwala to na większą swobodę projektowania i wyważenie pewnych cech konstrukcji drewnianej – na przykład jej lekkości. Możemy się też spodziewać rozwoju w sektorze materiałowym, który w przeszłości, dając nam drewno klejone, LVL czy CLT, przesunął już nie raz granice myślenia projektantów i inwestorów.

Literatura

- Abrahamsen R. B., Malo K. A. (2014). Structural design and assembly of "Treet" – a 14-storey timber residential building in Norway. W: *World Conference on Timber Engineering*, Quebec.
- Bjertnæs M. A., Malo K. A. (2014). Wind-induced motions of "Treet" – a 14-storey timber residential building in Norway. W: *World Conference on Timber Engineering*, Quebec.
- Ceccotti A., Sandhaas C., Okabe M., Yasumura M., Minowa C., Kawai N. (2013). SOFIE project – 3D shaking table test on a seven-storey full-scale cross-laminated timber building. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 42, Issue 13, 2003-2021.
- Connolly T., Loss C., Iqbal A., Tannert T. (2018). Feasibility study of mass-timber cores for the UBC tall wood building. *Buildings*, Vol. 8, 98-114.



Rys. 14. Widok konstrukcji i widok 3D budynku Treet w Bergen (Abrahamsen i Malo, 2014)

- ETA-06/0238. STEICOjoist i STEICOWall.
FPInnovations (2011). CLT Handbook – Canadian Edition.
FPInnovations, Quebec.
- Kuttler W. (2001). Urban climate and global climate change.
W: Climate of the 21st Century: Changes and risks.
Scientific facts, Hamburg, *Wissenschaftliche Auswertungen*,
344-350.
- Polastri A., Angeli A. (2014). An innovative connection system
for CLT structures: experimental-numerical analysis.
W: *World Conference on timber Engineering*, Quebec.
- Porteous J., Kermani A. (2007). Structural Timber Design
to Eurocode 5. *Blackwell Publishing*, Oxford.

EVOLUTION OF SYSTEMS OF TIMBER STRUCTURES IN MULTI-STOREY BUILDINGS

Abstract: In the article the evolution of timber structures in multi-storey buildings in recent years is presented. Prefabricated timber frame structures, also modular, CLT structures and mixed structures are described. Furthermore, the overview of new timber-based materials and fixings is involved.