

prof. dr hab. inż. Hanna Michalak^{1*)}

ORCID: 0000-0001-5914-4859

inż. arch. Karolina Michalak²⁾

Wybrane aspekty prośrodowiskowe realizacji budynków wysokich i wysokościowych o konstrukcji drewnianej w Szwecji

Selected pro-environmental aspects of construction of high and high-rise wooden structure buildings in Sweden

DOI: 10.15199/33.2024.05.05

Streszczenie. Ze względu na korzystne prośrodowiskowe właściwości drewna, tj. pochodzenie surowca ze źródeł odnawialnych, łatwość ponownego wykorzystania, ujemny ślad węglowy, mały ciężar własny i wynikający z tego faktu tani transport, łatwy i szybki montaż elementów, możliwość prefabrykacji itp., zwiększa się zainteresowanie jego zastosowaniem, w tym jako materiału konstrukcji nośnej budynków wysokich i wysokościowych. Przykłady budynków, które spełniają wymagania i postulaty architektury proekologicznej, zrealizowanych w Szwecji, przedstawiono w artykule. Zwrócono uwagę na wysoki standard wykończenia i możliwy zakres prefabrykacji w tego rodzaju budownictwie, mały ciężar własny konstrukcji, szybki i łatwy jej montaż, ograniczenie emisji substancji zanieczyszczających środowisko w trakcie wznoszenia, krótki czas budowy i uciążliwości dla użytkowników sąsiednich nieruchomości, a także łatwy demontaż wyeksploatowanych elementów z drewna i możliwość ich recyklingu.

Słowa kluczowe: budownictwo zrównoważone; konstrukcje drewniane; drewno klejone warstwowo GLT; drewno klejone krzyżowo CLT; prefabrykacja.

Abstract. Due to the favourable pro-environmental properties of wood; i.e. the origin of the raw material from renewable sources, ease of re-use, negative carbon footprint, low dead weight and the resulting low cost of transport, easy and quick assembly of components, the possibility of prefabrication, etc.; there is increasing interest in its use including as a load-bearing structure material in housing for high and high-rise buildings. Examples of buildings that meet the requirements and pro – ecological architecture postulates constructed in Sweden are presented in this article. Attention was drawn to the high standard of finishing and the prefabrication practicable scope in this type of construction, structure low dead weight and its quick and easy assembly, reduced emissions of pollutants during construction, short construction time and inconvenience for the neighbourhood, as well as easy disassembly of used timber elements and the possibility to recycle them.

Keywords: sustainable construction; wooden structures; glued laminated timber GLT; cross laminated timber CLT; prefabrication.

Współcześnie w sektorze budowlanym są wdrażane koncepcje zrównoważonego rozwoju, których podstawowym celem jest ograniczenie zużycia energii i emisji zanieczyszczeń, a w konsekwencji negatywnego oddziaływania obiektów budowlanych na środowisko naturalne w całym cyklu ich życia. Przy czym jest uznawane za akceptowalne [1]: *wydobywanie i użytkowanie nawet znaczącej ilości zasobów pod warunkiem, że zasoby te są odnawialne lub występują na Ziemi w ilości praktycznie niewyczerpanej*. Z tych względów są

prowadzone wieloaspektowe analizy dotyczące wpływu na środowisko wszystkich etapów procesu inwestycyjnego, tj. projektowania, wznoszenia, eksploatacji, ewentualnej modernizacji w przypadku wyczerpania pierwotnej funkcji użytkowej, bieżących remontów i kończącej cykl życia budynku – rozbiórki/demontażu. W efekcie tych analiz jest dokonywany wybór najkorzystniejszych rozwiązań architektonicznych, konstrukcyjnych, infrastruktury instalacyjnej itd. z uwzględnieniem kryteriów o charakterze prośrodowiskowym.

Problematyka zrównoważonego rozwoju i praktycznego wdrażania jego zasad w budownictwie jest przedmiotem wielu publikacji naukowych [1 – 4]. Poruszane są zagadnienia efektywności energetycznej budynków dotyczące faz

ich użytkowania [5, 6, 7], a także określone kryteria doboru odpowiednich rozwiązań materiałowych, architektonicznych, konstrukcyjnych, infrastruktury instalacyjnej w całym cyklu życia (*Life Cycle Assessment – LCA*). Wiele prac badawczych ujmuje zagadnienia redukcji „wbudowanego śladu węglowego” odnoszącego się do materiałów budowlanych, elementów wyposażenia i konstrukcji nośnej budynków [1 – 3, 8]. Wyniki tego rodzaju analiz są uwzględniane w wyborze najkorzystniejszego rozwiązania materiałowego elementów wyposażenia oraz konstrukcji nośnej [9]. W przypadku budynków wysokich i wysokościowych bądź obiektów o dużej rozpiętości elementów konstrukcyjnych najczęściej są wykorzystywane układy nośne z betonu (żelbetowe

¹⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Architektury
²⁾ Studentka Wydziału Architektury, Politechnika Warszawska

*) Adres do korespondencji:
hanna.michalak@pw.edu.pl

байд sprężone) i stalowe [10], rzadko z drewna klejonego warstwowo (*Glued Laminated Timber* – GLT) bądź klejonego krzyżowo (*Cross Laminated Timber* – CLT).

Ze względu na bardzo korzystne środowiskowe właściwości drewna, tj. pochodzenie surowca ze źródeł odnawialnych, łatwość ponownego wykorzystania (możliwy pełny bądź częściowy recykling), ujemny ślad węglowy (pochłanianie CO₂ w czasie wzrostu drzewa), mały ciężar własny i wynikający z tego tani transport, łatwy i szybki montaż elementów, możliwość prefabrykacji itp.; zwiększa się zainteresowanie jego zastosowaniem jako materiału do wykonywania konstrukcji nośnej w wysokich i wysokościowych budynkach mieszkalnych oraz użyteczności publicznej. Największe osiągnięcia mają kraje o dużej dostępności surowca i tradycji budownictwa drewnianego oraz rozwiniętym przemyśle drzewnym, w tym przede wszystkim Szwecja i Kanada. Przykłady realizacji budynków o konstrukcji drewnianej w Szwecji zostaną przedstawione w artykule.

W odniesieniu do architektury proekologicznej w wielu publikacjach naukowych są formułowane cele, jakie powinna ona spełniać [1, 11], takie jak:

- skala budynków dostosowana do zaspokojenia potrzeb danej społeczności;
- wykorzystanie materiałów odnawialnych o małej energii wbudowanej (potrzebnej do wytworzenia materiału) i podatnych do poddania recyklingowi;
- wykorzystanie materiałów lokalnych i w konsekwencji ograniczenie energii wynikającej z ich transportu;
- oszczędność wody przez wprowadzenie systemów odzysku i gospodarowania tzw. szarą wodą oraz pozyskania np. deszczówki;
- ograniczenie kosztów użytkowania dzięki wykorzystaniu efektywnych źródeł energii, w tym odnawialnej jako dominującej;
- odpowiednio zorientowanie bryły i ukształtowanie architektoniczne projektowanego budynku w celu wykorzystania energii i światła słonecznego;
- projektowanie przestrzenno-funkcjonalne z uwzględnieniem możliwości adaptacji do nowych potrzeb, w tym lep-

szego wykorzystania istniejącej tkanki budowlanej i ograniczenia rozrastania się terenów zabudowanych;

- ochrona środowiska naturalnego, m.in. przez zachowanie naturalnych terenów w obszarach miejskiej zabudowy;
- zapewnienie dostępu do środków transportu publicznego i ograniczenie transportu indywidualnego.

Wiele wymienionych proekologicznych postulatów spełnia zabudowa wysoka i wysokościowa wzniesiona w ostatnim dwudziestolecu w Szwecji, z wykorzystaniem drewna i materiałów drewnopochodnych pochodzących z lokalnych zasobów leśnych. **Celem przeprowadzonych analiz** było przedstawienie nowych możliwości zastosowania tych materiałów do wznoszenia budynków wysokich i wysokościowych o walorach środowiskowych, estetycznych i funkcjonalnych. Należy nadmienić, że intensywna zabudowa wysoka i wysokościowa sprzyja zaspokojeniu potrzeb m.in. mieszkaniowych lokalnej społeczności, przy jednoczesnym lepszym wykorzystaniu powierzchni działki budowlanej i w konsekwencji mniejszej ingerencji w naturalne tereny miast.

W artykule skoncentrowano się na wybranych aspektach środowiskowych, a przede wszystkim zastosowaniu drewna jako materiału do wykonania konstrukcji nośnej zabudowy miejskiej – wysokiej i wysokościowej. Zwrócono uwagę na dodatkowe walory tej zabudowy, w tym wynikające z możliwości wdrożenia: elementów prefabrykowanych konstrukcji nośnej i wysokiego standardu ich wykończenia; łatwości demontażu i podatności do ponownego wykorzystania/recyklingu, a także krótkiego czasu realizacji i małej uciążliwości takich inwestycji zarówno dla środowiska naturalnego, jak również użytkowników sąsiednich nieruchomości.

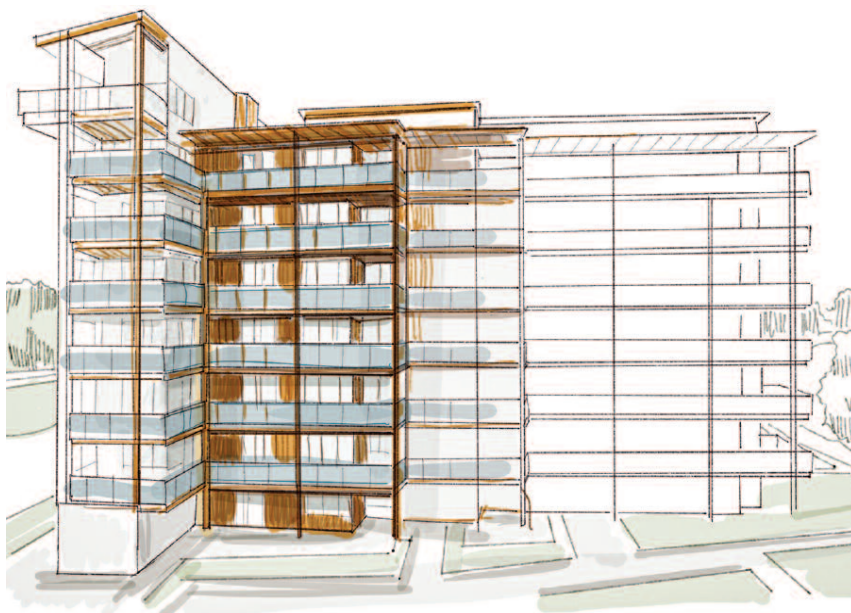
Przedmiotem artykułu są cztery budynki o największej wysokości z zespołów zabudowy mieszkaniowej zrealizowanych w: Vaxjo (dwa kompleksy zabudowy); Portvaktén Söder; północnej części Sztokholmu – Sundbyberg oraz hotel w ramach kompleksu użyteczności publicznej w Skellefteå. Wykorzystano

publikacje naukowe, a także źródła internetowe udostępnione przez projektantów i inwestorów budynków.

Opis analizowanych budynków

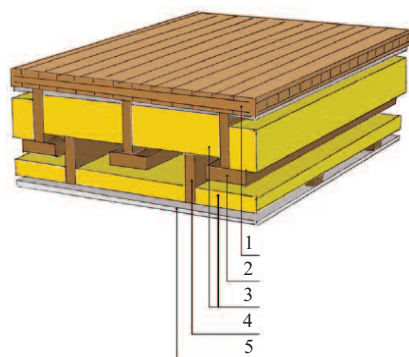
Zespół czterech budynków Limnologen wzniesionych w Vaxjo w Szwecji w latach 2008 – 2009 jako mieszkalne o ośmiu kondygnacjach naziemnych i wysokości wynoszącej 27 m powyżej poziomu terenu (rysunek 1), o łącznej powierzchni użytkowej 10 700 m², mieści łącznie 134 lokale mieszkalne o powierzchni od 37 do 114 m² (w każdym budynku 33 lub 34 lokale mieszkalne). Na wybór rozwiązania materiałowego istotny wpływ miała potrzeba promocji przemysłu drzewnego wykorzystującego duże lokalne zasoby drewna, a także ekonomicznych technologii budowy [12].

Ze względu na skomplikowane warunki gruntowo-wodne budynki są posadowione pośrednio na palach. Pierwsza kondygnacja naziemna każdego z budynków została wykonana jako żelbetowa słupowo-płytowa bądź słupowo-belkowa. Konstrukcję nośną od drugiej do ósmej kondygnacji naziemnej zaprojektowano wg systemu Martinsons jako ścianową z elementów powierzchniowych, tzn. ścian konstrukcyjnych i płyt stropowych, wykonanych z drewna klejonego krzyżowo CLT bądź lokalnie, z uwagi na potrzebę swobodnego kształtowania funkcjonalnego pomieszczeń, w postaci konstrukcji szkieletowej słupowo-belkowej z drewna klejonego warstwowo GLT. Kondygnacje od drugiej do siódmej mają identyczne rozwiązanie przestrzenne i gabaryty w rzucie. Każda jest montowana z trzydziestu różnych elementów prefabrykowanych, w tym płyt stropowych (rysunek 2) zazwyczaj o szerokości 2400 mm z trzywarstwowego drewna CLT grubości 73 mm, opartych na belkach z drewna GLT (przekrój teowy) [12], współpracujących w przenoszeniu obciążeń. Belki teowe mają średniki o wymiarach przekroju poprzecznego wynoszących 42 x 220 mm oraz pas dolny 56 x 180 mm [12]. Szywność przestrzenną budynku i odporność na oddziaływanie wiatru zapewnia system 48 pionowych naprzężonych stalowych cięgien zako-



Rys. 1. Szkic widoku ogólnego budynku Linnologen
 Fig. 1. Sketch of a general view of the Linnologen building

[Oprac. K. Michalak]
 [Elab. by K. Michalak]



Rys. 2. Schemat konstrukcji stropu. Oznaczenia: 1 – 3-warstwowa płyta CLT; 2 – belka teowa GLT; 3 – izolacja; 4 – podkonstrukcja drewniana; 5 – płyta g-k

[Oprac. K. Michalak na podstawie [12, 13]]
 Fig. 2. Scheme of the ceiling structure. Markings: 1 – 3-layer CLT board; 2 – GLT T-beams; 3 – insulation; 4 – timber substructure; 5 – plasterboard

[Elab. by K. Michalak based on [12, 13]]

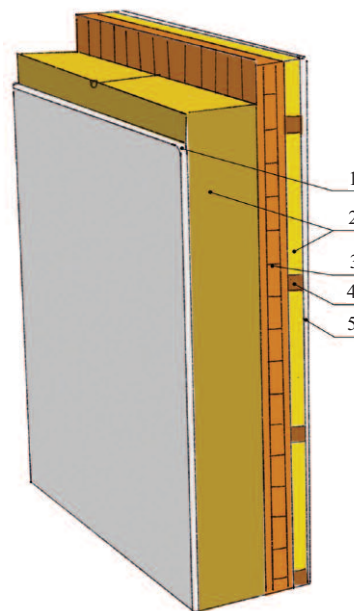
twionych w konstrukcji żelbetowej pierwszej kondygnacji i „spinających” konstrukcję w obrębie ścian nośnych aż do ostatniej kondygnacji naziemnej. Ze względu na właściwości reologiczne stali i odkształcenia drewna przewidziano konieczność kontroli sił naciągu i ewentualnego ich dopięcia w czasie użytkowania.

Prefabrykowane elementy drewniane budynku zostały wyprodukowane w zakładzie usytuowanym w odległości ok. 1200 km od miejsca wbudowania. Podczas transportu i rozładunku

były one zabezpieczone foliami i plankami przed zawilgoceniem i oddziaływaniem warunków atmosferycznych, a montaż konstrukcji odbywał się pod osłoną namiotu. Montaż kondygnacji o konstrukcji drewnianej był wykonywany przez zespół dziesięciu pracowników, z wykorzystaniem urządzeń dźwigowych o udźwigu do 3,3 t. Czas wzniesienia jednej kondygnacji wynosił ok. 10 dni roboczych.

Budynek został wyposażony w instalację tryskaczową, a każdy z lokali mieszkalnych zaprojektowany w klasie odporności ogniowej EI60 (pomieszczenia pomocnicze mieszczące przechowalnie wózków dla dzieci są klasy EI30) [12]. Wystrój elewacji południowej, dolnych powierzchni płyt balkonów, częściowo wewnętrznych pionów komunikacyjnych i lokali mieszkalnych stanowią płyty drewniane. Pozostałe elewacje zostały pokryte warstwą tynku (rysunek 3), a ściany wewnętrzne (rysunek 4) – płytami gipsowo-kartonowymi [13].

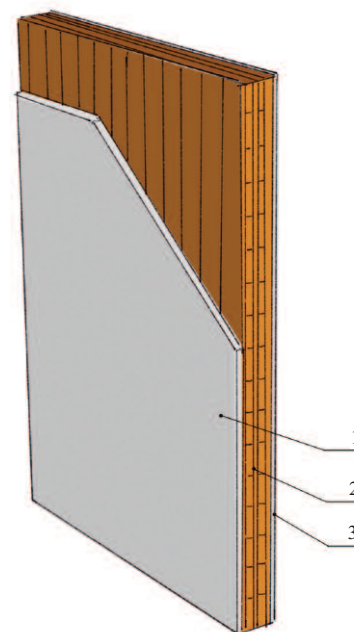
Podane w [13] wyniki analiz oddziaływania tej inwestycji na środowisko wykazały, że w cyklu pięćdziesięcioletniego życia budynków ujmującego produkcję, użytkowanie i rozbiórkę będą korzystniejsze pod względem emisji CO₂ w porównaniu z tradycyjnymi rozwiązaniami budynków o konstrukcji stalowej czy żelbetowej.



Rys. 3. Schemat konstrukcji ściany zewnętrznej. Oznaczenia: 1 – tynk; 2 – izolacja; 3 – 3-warstwowa płyta CLT; 4 – podkonstrukcja drewniana; 5 – płyta g-k

[Oprac. K. Michalak na podstawie [12, 13]]
 Fig. 3. Scheme of external wall structure. Markings: 1 – plaster; 2 – insulation; 3 – 3-layer CLT board; 4 – timber substructure; 5 – plasterboard

[Elab. by K. Michalak based on [12, 13]]



Rys. 4. Schemat konstrukcji ściany wewnętrznej. Oznaczenia: 1 – płyta g-k; 2 – 3-warstwowa płyta CLT; 3 – płyta g-k

[Oprac. K. Michalak na podstawie [13]]
 Fig. 4. Scheme of internal wall construction. Markings: 1 – plasterboard, 2 – 3-layer CLT board; 3 – plasterboard

[Elab. by K. Michalak based on [13]]

Zespół dwóch budynków mieszkalnych w Portvaktén Söder w Szwecji z 64 lokalami mieszkalnymi (rysunek 5) został wzniesiony w 2009 r. w technologii domu pasywnego wg wymagań szwedzkich [14]. Każdy z budynków ma identyczne rozwiązania przestrzenno-funkcjonalne i materiałowo-konstrukcyjne, 8 kondygnacji naziemnych i wysokość 27 m powyżej powierzchni terenu. Konstrukcja jest wykonana z drewna klejonego krzyżowo CLT o rozwiązaniu podobnym do budynków Limnologen (rysunki 2 – 4) [12]. Posadowienie każdego z budynków stanowi żelbetowa płyta fundamentowa. Pierwsza kondygnacja została zaprojektowana jako żelbetowa, a powyżej zastosowano rozwiązania modułowe elementów ściennych i stropowych z drewna CLT wg systemu Martinsons. Zakres prefabrykacji był większy niż w przypadku Limnologen i obejmował wykonanie w zakładzie prefabrykacji elementów ściennych wraz z wewnętrznymi okładzinami z płyt gipsowo-kartonowych i okładzinami elewacyjnymi oraz płyt stropowych z okładziną sufitu z płyt gipsowo-kartonowych. W konsekwencji wyższy stopień prefabrykacji i wykończenia prafabrykatów dostarczonych na plac budowy miał bezpośredni wpływ na łatwy i szybki montażu (11 miesięcy) tylko przez czterech pracow-



Rys. 5. Szkic widoku ogólnego budynków w Portvaktén Söder [Oprac. K. Michalak]
Fig. 5. Sketch of a general view of the buildings in Portvaktén Söder
 [Elab. by K. Michalak]

ników budowlanych z wykorzystaniem urządzeń dźwigowych [12].

Strandparken Building B stanowi zespół dwóch budynków (rysunek 6), o identycznym rozwiązaniu architektoniczno-konstrukcyjnym, wzniesionych w Sundbyberg w północnej części Sztokholmu i oddanych do użytkowania w 2014 r. [12, 15]. Każdy z budynków ma jedną kondygnację podziemną, 8 kondy-



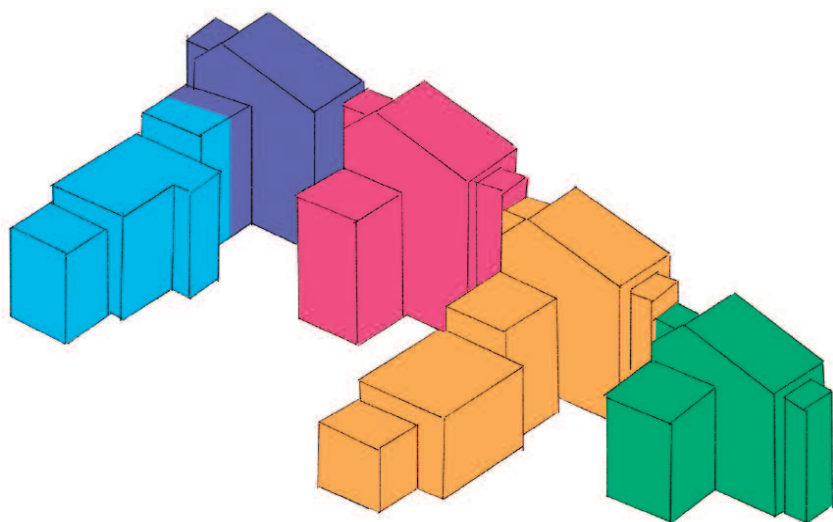
Rys. 6. Szkic widoku ogólnego budynku Strandparken Building B [Oprac. K. Michalak]
Fig. 6. Sketch of a general view of Strandparken Building B
 [Elab. by K. Michalak]

gnacji naziemnych i wysokość wynoszącą 27 m powyżej poziomu terenu. Fundamenty i konstrukcja części podziemnej zostały wykonane jako żelbetowe prefabrykowane, natomiast część naziemna z wykorzystaniem systemu Martinsons z drewna CLT. Konstrukcja nośna jest ścianowa. Płyty CLT konstrukcji ścian zewnętrznych mają grubość 120 mm, ściany konstrukcyjne wewnętrzne – 170 mm, płyty stropowe, w zależności od rozpiętości, od 70 do 170 mm, a ściany pionów komunikacyjnych i szybów windowych zostały wykonane z paneli CLT o grubości 120 mm. Elementy prefabrykowane przywieziono z zakładu prefabrykacji odległego o 700 km od miejsca wbudowania. Elewacje i dach zostały obłożone gontami z drewna cedrowego (rysunek 7), przy czym gonty na elewacji pierwszej kondygnacji i dachowe zostały zaimpregnowane przeciwogniowo. Budynek wyposażono w instalację tryskaczową [12].

W latach 2015 – 2018 został zrealizowany w dzielnicy Vallen miasta Vaxjö kompleks budynków mieszkalnych (rysunek 8) z 172 lokalami mieszkalnymi o łącznej powierzchni użytkowej 8016 m² [16]. Liczba kondygnacji naziemnych tych budynków jest zróżnicowana i wynosi od 7 do 9, a wysokość najwyższego z nich 31 m. Bryła kompleksu budynków jest wkomponowana w otaczającą, atrakcyjną pod względem przyrodniczym przestrzeń i otwarta widokowo na jezioro Väckjösjön. Wszystkie lokale wyposażono w balkony, a dziewięć z nich dodatkowo w przestronne zielone tarasy na dachach. Konstrukcja została zaprojektowana jako drewniana z elementów prefabrykowanych powierzchniowych z CLT i elementów prętowych z drewna klejonego warstwowo GLT. Z informacji udostęp-



Rys. 7. Szkic fragmentu elewacji z okładziną z gontu cedrowego [Oprac. K. Michalak]
Fig. 7. Sketch of a section of the façade with cedar shingle cladding
 [Elab. by K. Michalak]



Rys. 8. Schemat kompleksu budynków mieszkalnych w Vallen

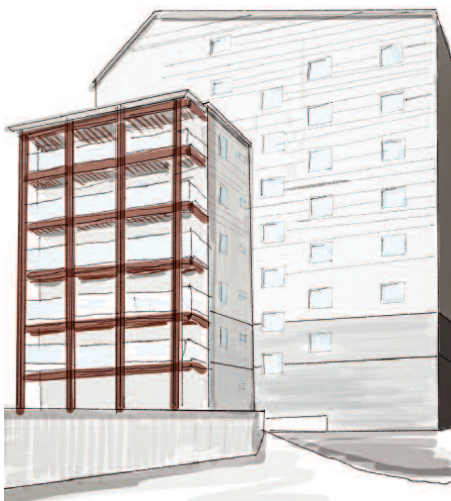
Fig. 8. Diagram of the residential buildings complex in Vallen

[Oprac. K. Michalak]

[Elab. by K. Michalak]

nionych w [16] wynika, że prefabrykowaną konstrukcję drewnianą zmontowano w bardzo krótkim czasie – trzech tygodni.

Dwa najwyższe 9-kondygnacyjne budynki tego kompleksu mają podobne rozwiązanie architektoniczno-konstrukcyjne (rysunek 9). Dwie dolne kondygnacje zostały zaprojektowane jako żelbetowe, a kolejne 7 z wykorzystaniem systemowego budownictwa drewnianego Trä8-system firmy Moelven Töreboda. Jest to system ramowy przestrzenny z drewna klejonego warstwowo GLT. Rygle ramy mają rozpiętość 5,7–8,0 m. Wewnętrzne powierzchnie ścian i sufity zostały obłożone płytami gipsowo-kartonowymi. Budynki mają szyby komu-



Rys. 9. Szkic widoku ogólnego jednego z budynków w Vallen

Fig. 9. Sketch of a general view of one of the buildings in Vallen

[Oprac. K. Michalak]

[Elab. by K. Michalak]

nikacyjno-windowowe wykonane jako żelbetowe. W celu zapewnienia sztywności przestrzennej i odporności na oddziaływanie poziome wiatru konstrukcje stropów międzykondygnacyjnych kotwiono w konstrukcji żelbetowej tych szybów.

Sara Kulturhus Center to zespół zabudowy użyteczności publicznej oddany do użytkowania w 2021 r. w Skellefteå (mieście usytuowanym powyżej koła podbiegunowego) w Szwecji (rysunek 10). Składa się on z podstawowej bryły prostopadłościennej o dwudziestu kondygnacjach naziemnych i wysokości 80 m powyżej poziomu terenu, do której podstawy przylegają kolejne prostopadłościenne bryły o wysokości nieprzekraczającej siedmiu kondygnacji. W podstawowej najwyższej bryle zabudowy na kondygnacjach 7 ÷ 20 mieści się hotel z 205 pokojami, natomiast w dolnej części, wraz z przylegającymi mniejszymi bryłami, obiekt użyteczności publicznej, tj. sześć sal teatralnych, muzeum, dwie galerie sztuki, biblioteka publiczna, centrum konferencyjne, restauracje, sky bar i spa [17].

Konstrukcja części naziemnej obiektu została zaprojektowana z drewna pozyskanego z regionalnych lasów borealnych. W obrębie części wysokiej – hotelowej konstrukcja została wykonana z prefabrykowanych modułów przestrzennych z CLT. Technologia wznoszenia obejmowała w pierwszej kolejności wykonanie dwóch pionów komunikacyjno-windowowych z powierzchniowych elementów z CLT, usytuowanych na całej wysokości

budynku wzdłuż skrajnych boków jego prostopadłościennej bryły, a następnie montażu między tymi pionami modułów przestrzennych, o gabarytach odpowiadających pokojom hotelowym, z wykorzystaniem urządzeń dźwigowych [17].

Niskie bryły zabudowy zostały ukształtowane konstrukcyjnie jako szkieletowe układy nośne z elementów prętowych – belek stropowych i słupów z drewna klejonego warstwowo GLT oraz ścian osłonowych z elementów powierzchniowych CLT, natomiast w strefach stropów o dużej rozpiętości (sale teatralne, foyer itp.) konstrukcję nośną stanowiły belki kratownicowe ukształtowane z prętów z drewna GLT przenoszących siły ściskające oraz rozciąganych prętów stalowych [17, 18].



Rys. 10. Szkic widoku ogólnego kompleksu zabudowy Sara Kulturhus Center

[Oprac. K. Michalak]

Fig. 10. Sketch of a general view of the Sara Kulturhus Center development complex

[Elab. by K. Michalak]

Omówienie wyników

Z badań podanych w [14] wynika, że szwedzki sektor mieszkaniowy i usługowy odpowiadał w 2011 r. za zużycie ok. 38% energii, przy czym 60% tej wartości dotyczyło energii wykorzystywanej w czasie eksploatacji budynków (do ogrzewania pomieszczeń i podgrzewania wody). Z tych względów realizowano politykę zwiększenia udziału w budownictwie budynków o dużej efektywności energetycznej, w tym w technologii domu pasywnego. Rozwinięto ponadto badania naukowe mające na celu wdrożenie rozwiązań materiało-

wo-konstrukcyjnych budynków o małej energii wbudowanej oraz monitorowanie zużycia energii w trakcie ich użytkowania w celu porównania z wartościami prognozowanymi.

W związku z prowadzeniem w Szwecji zrównoważonej gospodarki leśnej i rozwiniętego przemysłu drzewnego są podejmowane działania proekologiczne związane z jak najszerszym wykorzystaniem drewna w budownictwie, również jako materiału do wykonywania konstrukcji nośnej. Produkcja elementów nośnych z drewna, np. ram drewnianych, jest związana z oszczędnością nawet 30% energii wbudowanej w porównaniu z tradycyjnymi rozwiązaniami konstrukcji żelbetowej [14]. Ponadto elementy drewniane są możliwe do odzysku w przypadku wyeksploatowania budynku i ponownego wykorzystania. Badano również poziom satysfakcji mieszkańców z użytkowania lokali w budynkach drewnianych w Portvaktén Söder. Z wyników ankiety podanej w [14] wynika, że ponad 90% mieszkańców wykazało zadowolenie z ich eksploatacji (oceniając dobrze bądź bardzo dobrze).

Wszystkie z analizowanych budynków miały konstrukcję prefabrykowaną z drewna z CLT bądź GLT, przy czym pierwsza kondygnacja naziemna bądź podziemna i pierwsza naziemna oraz fundamenty zostały zrealizowane jako żelbetowe prefabrykowane bądź monolityczne. Zakres prefabrykacji był zróżnicowany i obejmował najczęściej prefabrykowane elementy z CLT bądź GLT bez warstw wykończenia, a w jednym przypadku również z obustronnymi okładzinami. Przyjęty zakres prefabrykacji miał decydujący wpływ na czas montażu i termin oddania budynków do użytkowania. We wszystkich przypadkach było wymagane zapewnienie ochrony przed zawilgoceniem prefabrykowanych elementów drewnianych w czasie transportu, magazynowania oraz montażu konstrukcji.

Wszystkie budynki charakteryzowały się prostą bryłą prostopadłościenną bądź złożoną z przylegających do siebie wielu brył prostopadłościennych o zróżnicowanej wysokości. W każdym budynku występowała powtarzalność rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych w obrębie kondygnacji mieszkalnych i hotelowych. Wszystkie budynki cechował wysoki

standard wykończenia, zazwyczaj z wykorzystaniem drewna i materiałów drewnopochodnych bądź w ograniczonym zakresie tynków i płyt gipsowo-kartonowych.

Wnioski

Przykłady zrealizowanych budynków o konstrukcji drewnianej w Szwecji potwierdzają możliwość stosowania elementów prefabrykowanych z drewna CLT i GLT jako materiałów do wykonywania konstrukcji nośnej budynków wysokich i wysokościowych.

Tego rodzaju zabudowa charakteryzuje się walorami estetycznymi, funkcjonalnymi, konstrukcyjnymi, a także korzystnymi właściwościami pod względem ograniczenia negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne. Ponadto spełnia wymagania architektury proekologicznej, w tym sprzyja efektywnemu zaspokojeniu potrzeb m.in. mieszkaniowych lokalnej społeczności z jednoczesnym dobrym wykorzystaniem powierzchni działki budowlanej i ograniczeniem uciążliwości dla środowiska w czasie wznoszenia oraz ingerencji w naturalne tereny miast.

Można przypuszczać, że zainteresowanie wdrożeniem innowacyjnych rozwiązań architektoniczno-konstrukcyjnych prefabrykowanego budownictwa drewnianego w zabudowie wysokiej i wysokościowej będzie się zwiększało nie tylko w Szwecji [19], ale również w innych krajach o podobnych warunkach klimatycznych, dążących do zrównoważonego budownictwa.

Literatura

- [1] Marchwiński J, Zielonko-Jung K. Współczesna architektura proekologiczna. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2012.
- [2] Belniak S, Głuszak M, Zięba M. Budownictwo ekologiczne. Aspekty ekonomiczne. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2013.
- [3] Kaliszuk-Wietecha A, Węglarz A. Nowoczesne budynki energoefektywne. Znowelizowane warunki techniczne. Warszawa. Polcen Sp. z o.o., 2019.
- [4] Michalak H, Torberntsson A. Koncepcje ograniczania negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne w projektowaniu i realizacji budynków. Materiały Budowlane Science. 2023; DOI: 10.15199/33.2023.04.05.
- [5] Fedorczyk-Cisak M, Sadowska B. Innowacyjne rozwiązanie budynków o drewnianej konstrukcji szkieletowej z zastosowaniem systemu Aktywnej Izolacji Termicznej. Materiały Budowlane Science. 2023; DOI: 10.15199/33.2023.08.04.

[6] Marchwiński J, Starzyk A, Kopyłow O. Energooszczędne rozwiązania materiałowe w architekturze budynków przedszkolnych. Materiały Budowlane Science. 2022; DOI: 10.15199/33.2022.08.06.

[7] Kram D, Nowak K, Śliwa-Wieczorek K, Hrehorowicz-Gaber H, Błazy R, Hrehorowicz-Nowak A, Błachut J, Lysień M, Ciepela A, Dudek J. Drewniane budownictwo modułowe jako innowacyjne rozwiązanie szkół przyszłości. Materiały Budowlane Science. 2023; DOI: 10.15199/33.2023.12.06.

[8] Kamionka L, Wdowiak-Postulak A, Hajdenrajch A. Nowoczesne budownictwo drewniane w technologii CLT na przykładzie budynku Bioklimatycznej Jednostki Modularnej. Materiały Budowlane Science. 2022; DOI: 10.15199/33.2022.03.07.

[9] Czarnigowska A, Bucóń R, Gierat J. Problemy wielokryterialnego wyboru „zielonych” rozwiązań budowlanych na przykładzie dachu domu szkieletowego. Materiały Budowlane Science. 2022; DOI: 10.15199/33.2022.12.17.

[10] Błaszczyński TZ. Wieżowce ekologiczne. Builder. 2019; DOI: 10.5604/01.3001.0013.3610.

[11] Edwards B. Sustainable Architecture. Architectural Design. 71, 2001.

[12] Landel P. Swedish Technical Benchmarking of Tall Timber Buildings. Technical Report November 2018. RISE Research Institutes of Sweden Report 2018: 67; <https://www.researchgate.net/publication/331684721>.

[13] Serrano E. Limnologen – Experiences from an 8-storey timber building. 15. Internationales Holzbau-Forum, Technical Report January 2009; 1–12; https://www.researchgate.net/publication/266000534_Documentation_of_the_Limnologen_Project_Overview_and_Summaries_of_Sub_Projects_Results.

[14] Mahapatra K, Olsson S. Energy Performance of Two Multi-Story Wood-Frame Passive Houses in Sweden. Buildings. 2015; 5; DOI: 10.3390/buildings5041207.

[15] Larsson M, Erlandsson M, Malmqvist T, Kellner J. Climate impact of constructing an apartment building with exterior walls and frames of cross-laminated timber – the Strandparken residential tower. IVL Swedish Environmental Research Institute 2017; chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1552350/FULLTEXT01.pdf>.

[16] Binderholz. REFERENCE. Residential complex Vallen, Växjö/Sweden. <https://www.binderholz.com/en-us/mass-timber-solutions/residential-complex-vallen-vaexjoe-sweden/>.

[17] Pintos P. Sara Kulturhus Center/White Arkitekter. <https://www.archdaily.com/967019/sara-kulturhus-center-white-arkitekter>.

[18] White Arkitekter. Sara Cultural Centre, Skellefteå. <https://whitearkitekter.com/project/sara-cultural-centre/>.

[19] Lundgren J. The Impact of Life Expectancy in LCA of Concrete and Massive Wood Structures A Case Study of Strandparken in Sundbyberg. Master of Science Thesis in the Master's Programme Structural Engineering and Building Technology. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 2014. Master's Thesis 2014: 4; <https://odr.chalmers.se/items/f863db73-82f0-400a-8bde-618f9258bf6f>.

Przyjęto do druku: 18.04.2024 r.