

dr hab. inż. arch. Lucjan Kamionka¹⁾

ORCID: 0000-0003-4290-0309

dr inż. Agnieszka Wdowiak-Postulak^{2*)}

ORCID: 0000-0003-0020-8534

mgr inż. arch. Aleksandra Hajdenrajch³⁾

Nowoczesne budownictwo drewniane w technologii CLT na przykładzie budynku Bioklimatycznej Jednostki Modularnej

Modern wood construction realised in CLT technology on the example of Bio-climatic Modular Unit

DOI: 10.15199/33.2022.03.07

Streszczenie. Przedmiotem artykułu są zagadnienia dotyczące kształtowania przestrzeni proekologicznej z elementów z drewna klejonego w technologii CLT na przykładzie budynku mieszkalno-usługowego. Elementy z drewna klejonego krzyżowo charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami technicznymi. Budowanie z drewna jest ekologiczne i przyjazne środowisku. Elementy są biodegradowalne, a ich produkcja nie wymaga dużego zużycia energii. Drewno jest powszechnie dostępne, nie wymaga pracochłonnych procesów technologicznych oraz charakteryzuje się małą emisją CO₂. Elementy z drewna klejonego krzyżowo stosuje się do wznoszenia budynków niskich, średnio-wysokich oraz wysokich.

Słowa kluczowe: drewno; konstrukcje budowlane; CLT (*Cross Laminated Timber*).

Abstract. The paper deals with the issues related to creating ecologically friendly space with the use of glued timber elements in CLT technology. The discussion is based on the example of a residential and commercial building. Cross laminated timber elements have very good technical properties. Timber construction is ecological and environmentally friendly. The elements are biodegradable and their production does not require much energy input. In addition to being widely available, timber does not need labour-intensive technological processes and generates low CO₂ emissions. Cross laminated timber elements can be used to construct low-, medium- and high-rise buildings.

Keywords: timber; building structures; CLT (*Cross Laminated Timber*).

Elementy z drewna klejonego krzyżowo w technologii CLT (*Cross Laminated Timber*) stanowią wielkowymiarowe panele składające się najczęściej z trzech, pięciu lub siedmiu warstw drewna konstrukcyjnego. Krzyżowy układ warstw zapewnia odpowiednią stabilność wymiarową, wytrzymałość oraz sztywność. Produkcja elementów w technologii CLT wymaga pozyskania tarcicy konstrukcyjnej o odpowiedniej wilgotności, wytrzymałości i jakości. Elementy (płyty) składają się z warstw podłużnych i poprzecznych. W przypadku elementów ściennych warstwy podłużne ułożone są równoległe do działającej siły, nato-

miast w elementach stropowych i dachowych – do rozpiętości przęsła. Warstwy podłużne wykonane są zazwyczaj z drewna klasy co najmniej C24, a warstwy poprzeczne – co najmniej C16 [1, 2, 4, 9].

Dzięki dużej pojemności cieplnej drewna budynki w technologii CLT stanowią doskonałą barierę przed krótkoterminowym działaniem wysokiej temperatury zewnętrznej i odpowiednio utrzymują temperaturę podczas krótkotrwałego spadku temperatury zewnętrznej. Elementy z drewna klejonego krzyżowo mają dużą nośność, izolacyjność oraz odporność ogniową na poziomie 30, 60 czy 90 min (w szczególnych przypadkach również REI 120). Pozwalają na projektowanie i realizację budynków energooszczędnych oraz pasywnych. W procesie wytwarzania elementów konstrukcyjnych w technologii CLT nie są emitowane szkodliwe gazy ani substancje, a klej stosowany do scalania jest wolny od niebezpiecznych

pierwiastków. Ponadto drewno jest naturalnym magazynem dwutlenku węgla (1 m³ drewna CLT magazynuje 1-1,5 tony CO₂). Może być wykorzystywane lokalnie i poddane recyklingowi [5 ÷ 8]. Ściany w technologii CLT nie wymagają dodatkowych zabiegów wykończeniowych od wewnątrz.

Drewno jako materiał naturalny o anizotropowej budowie oraz różnorodnych właściwościach mechanicznych jest proste w projektowaniu i przewidywalne po wbudowaniu w konstrukcję [3, 10 ÷ 15]. Dzięki sklejeniu warstw pod kątem prostym panel w technologii CLT osiąga dużą sztywność w obu kierunkach. Drewno klejone warstwowe wpisuje się w ideę zrównoważonego budownictwa. Może być stosowane w połączeniu z innymi materiałami, również w przypadku części podziemnej budynku, w której niemożliwe jest zastosowanie konstrukcji drewnianej. Wykazuje dobre parametry akustyczne i cieplne. Czas wykonania konstrukcji

¹⁾ Politechnika Świętokrzyska; Katedra Teorii i Projektowania Architektoniczno-Urbanistycznego

²⁾ Politechnika Świętokrzyska; Katedra Wytrzymałości Materiałów i Analiz Konstrukcji Budowlanych

³⁾ absolwentka Politechniki Świętokrzyskiej

*) Adres do korespondencji: awdowiak@tu.kielce.pl

wynosi nawet kilka dni w zależności od skomplikowania projektu. Do produkcji elementów w technologii CLT stosowane jest drewno certyfikowane PEEC lub FSC. Drewno klejone warstwowo poprzecznie jest odporne na temperaturę, natomiast wpływ wilgotności nie stanowi takiego problemu, jak w przypadku starych konstrukcji drewnianych. W prawidłowo wykonanej konstrukcji w technologii CLT nie jest wymagane stosowanie folii uszczelniających, wiatroizolacji czy paroizolacji. Podczas pożaru na powierzchni drewna powstaje warstwa węglowa, co oznacza, że przy kontakcie z ogniem ulega ona zwęgleniu i znacznie opóźnia proces spalania. Budynki w technologii CLT cechuje mały ciężar konstrukcji oraz łatwość w przebudowie i modernizacji.

Nowatorskie konstrukcje z drewna klejonego krzyżowo

Z elementów drewnianych klejonych krzyżowo można budować zarówno domy jednorodzinne – niskie, jak również budynki średniowysokie i wysokie. Technologia CLT umożliwia kształtowanie różnorodnych form architektonicznych i budowę niebanalnych, ciekawych obiektów z poszanowaniem uwarunkowań proekologicznych.

Dom-Most zrealizowany w 2016 r. nad jeziorem w Kanadzie, o powierzchni użytkowej 230 m², pokazuje możliwości techniczne oraz architektoniczne technologii CLT w projektowaniu i realizacji budynków niskich. **Mjøstårnet** to 18-piętrowy budynek wielofunkcyjny w Norwegii, którego budowę ukończono w marcu 2019 r. Nosi nazwę największego jeziora w Norwegii. Konstrukcja została wykonana z drewna klejonego warstwowo. Oficjalnie jest to najwyższy drewniany budynek na świecie (wysokość 85,4 m). Jego łączna powierzchnia to ok. 11 300 m². W budynku znajdują się hotel, apartamenty, biura, części wspólne oraz hala basenowa. Kolejna budowla, osiemnastokondygnacyjny **Brock Commons** (otwarta w lipcu 2017 r.) pełni funkcję akademika dla 404 studentów z University of British Columbia Point Grey

w Vancouver w Kanadzie. Jest to pierwszy drewniany budynek na terenie Kanady, zrealizowany w ramach Projektu Demonstracyjnego Budownictwa z Drewna. Obiekt promuje budowę z drewna jako wzorca na przyszłe lata. Przy kubaturze 2233 m³ wykorzystuje imponującą ilość drewna, które magazynuje 1753 tony dwutlenku węgla, pozwalając uniknąć emisji 679 t gazów cieplarnianych. Koszty budowy takiego budynku na terenie Kanady są porównywalne z tradycyjnym budynkiem betonowym. Konstrukcja budynku oraz jego elewacja zostały wykonane w zaledwie 66 dni. Obiekt ma wysokość 53 m. Znajdują się w nim biura, przestrzenie konferencyjne, a na parterze są strefy usługowe, rekreacyjne, restauracje. **Tree** to czternastopiętrowy budynek w Bergen w Norwegii, zbudowany w latach 2014 – 2015, zaprojektowany z myślą o obecnych i przyszłych potrzebach społecznych z naciskiem na wydajność i zrównoważony rozwój. Obiekt jest w całości wykonany z drewna klejonego krzyżowo. Ma wysokość 49 m.

Bioklimatyczna Jednostka Modułarna z drewna klejonego krzyżowo

Interesującą próbę zastosowania drewna klejonego krzyżowo w technologii CLT w mieszkalno-usługowym budynku koncepcyjnym w dzielnicy Praga-Południe w Warszawie [16], w aspekcie uwa-

runkowań proekologicznych, pokazano na rysunkach 1 i 2. Przestrzeń obiektu stanowi klamrę spinającą miejskie obszary zielono-ekologiczne. Budynek został podzielony na elastyczne strefy funkcjonalne, zachowując równowagę pomiędzy środowiskiem przyrodniczym a zbudowaną tkanką miejską. Układ konstrukcyjny umożliwia elastyczne kształtowanie wnętrza. Niezmienną częścią budynku jest trzon komunikacyjny



Rys. 2. Widok budynku Bioklimatycznej Jednostki Modularnej

Źródło: A. Hajdenrajch

Fig. 2. View of the Bio-climatic Modular Unit



Rys. 1. Bioklimatyczna Jednostka Modułarna z drewna klejonego krzyżowo wraz z ekologiczną przestrzenią otwartą – zielony korytarz

Źródło: A. Hajdenrajch

Fig. 1. Bio-climatic Modular Unit made of cross-laminated timber together with ecological open space – green corridor

na całej jego wysokości. Ukształtowanie obiektu umożliwiła przenikanie się przestrzeni wewnętrznej i zewnętrznej. Zastosowano w nim niekonwencjonalne źródła energii w formie paneli fotowoltaicznych, pomp ciepła oraz małych turbin wiatrowych. Racjonalna gospodarka wodą polega na wykorzystaniu wody deszczowej do podlewania zieleni oraz zastosowaniu obiegu tzw. szarej wody [5].

Układ przestrzenny budynku umożliwia elastyczne wykorzystanie powierzchni w zależności od zmieniających się potrzeb użytkowych. W budynku są powierzchnie pod uprawy hydroponiczne, tzw. farmy miejskie [5]. Główną ideą prezentowanego autorskiego projektu jest stworzenie miejsca z myślą o rozwiązaniu lokalnych i globalnych problemów. Jest to przykład eksperymentalnego budynku oraz znanego urbanistycznego zabiegu tworzenia zielonych korytarzy ekologicznych. Aby zrozumieć problemy oraz potrzeby tego miejsca, konieczne były dokładne analizy oraz oszacowanie możliwości, jakie można zaoferować danej przestrzeni i jej użytkownikom. Wybór lokalizacji nie był przypadkowy, ponieważ Warszawa jest największym i najszybciej rozwijającym się ośrodkiem, a co za tym idzie generującym duże straty środowiskowe.

Próba wykorzystania potencjału dzielnicy Praga-Południe polegała na połączeniu istniejących terenów zieleni przez stworzenie korytarza ekologicznego spajającego miejsca wypoczynku. Ważnymi ośrodkami charakterystycznymi dla analizowanego obszaru jest Dworzec Warszawa Wschodnia oraz Park Skaryszewski. W osi urbanistycznej utworzono trakt dla pieszych i rowerzystów przechodzący przez zaprojektowany budynek, który charakteryzuje się niemal zeroemisyjnym oddziaływaniem na środowisko. Jest m.in. wyposażony w energooszczędne zasilacze alternatywnymi źródłami energii. Został zaprojektowany w sposób umożliwiający przeprojektowywanie układu przestrzeni. Piętra przeznaczone na biura mogą spełniać inne funkcje, a lokale użytkowe zostać łatwo przebudowane. To samo dotyczy części mieszkalnej oraz użyteczności publicznej, np.

przedszkoli. W budynku przewidziano mały pasaż handlowy, w którym komunikację zaprojektowano w sposób umożliwiający wejście na parking podziemny, gdzie można także naładować auto energią elektryczną. W posadzkę pasażu wkomponowano historyczną istniejącą nawierzchnię. Budynek spełnia wymagania osób niepełnosprawnych. Zastosowane rozwiązania są proste i intuicyjne. Interdyscyplinarny charakter projektu odznacza się rozwiązywaniem w skali lokalnej oraz globalnej w sposób kompleksowy problemów na poziomie socjologicznym oraz spełnienia potrzeb komfortu życia jednostki. Projekt koncepcyjny pokazuje, w jakim kierunku należy zdążyć, aby kształtować zrównoważone środowisko [6].

Podsumowanie

Przedprojektowe analizy dotyczące optymalnego wyboru materiałów budowlanych do budowy Bioklimatycznej Jednostki Modularnej wykazały, że drewno klejone w technologii CLT jest bardzo korzystne z uwagi na:

- odpowiednią stabilność wymiarową, wytrzymałość oraz sztywność;
- świetną barierę przed krótkoterminowym działaniem wysokiej temperatury zewnętrznej i ze względu na utrzymanie temperatury podczas krótkotrwałego spadku temperatury zewnętrznej;
- dużą nośność, izolacyjność oraz odporność ogniową;
- aspekty ekologiczne;
- ściany w technologii CLT można wyprodukować w taki sposób, aby nie wymagały dodatkowych zabiegów wykończeniowych od wewnątrz.

Budynki z drewna w technologii CLT tworzą zharmonizowane kompleksy proekologiczne, co jest istotną cechą zrównoważonego rozwoju środowiska architektonicznego.

Literatura

- [1] Manfred Augustin. 2008. *Podręcznik 1: Konstrukcje drewniane, Rozdział 6: Panele drewnopochodne*. Projekty Pilotażowe Leonardo da Vinci.
- [2] Reinhard Brandner. 2013. *Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report*.

[3] Brol Janusz, Agnieszka Wdowiak-Postulak. 2019. „Old Timber Reinforcement with FRP”. *Materials*, 12, 4197.

[4] CLT Handbook, FPInnovation 2011.

[5] Kamionka Lucjan. 2012. *Architektura zrównoważona i jej standardy na przykładzie wybranych metod oceny*. Politechnika Świętokrzyska, Monografie. Studia. Rozprawy. M30. Kielce.

[6] Kamionka Lucjan. 2019. *Architektura w zrównoważonym Środowisku Kulturowo-Przyrodniczym*. Politechnika Świętokrzyska, Monografia. Architektura 11 Kielce.

[7] Kamionka Lucjan. 2021. *Architecture in a sustainable environment. The future begin today*. Politechnika Świętokrzyska. Monografia. Architektura 16 Kielce.

[8] Kamionka Lucjan. 2016. *Projektowanie zrównoważone jako paradygmat kształtowania przestrzeni w XXI wieku*, pod redakcją L. Kamionki. Politechnika Świętokrzyska. Monografia. Architektura 3. Kielce.

[9] Kram Dorota, Magdalena Stelmach. 2015. „CLT – nowe możliwości dla budownictwa drewnianego”. *Przegląd Budowlany* 6.

[10] Wdowiak Agnieszka, Janusz Brol. 2019. „Effectiveness of Reinforcing Bent Non-Uniform Pre-Stressed Glulam Beams with Basalt Fibre Reinforced Polymers Rods”. *Materials*, 12, 3141.

[11] Wdowiak-Postulak Agnieszka, Janusz Brol. 2020. „Ductility of the Tensile Zone in Bent Wooden Beams Strengthened with CFRP Materials”. *Materials*, 13, 5451.

[12] Wdowiak-Postulak Agnieszka, Grzegorz Świt. 2021. „Behavior of Glulam Beams Strengthened in bending with BFRP Fabrics”. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 31 (2): 1 – 14.

[13] Wdowiak-Postulak Agnieszka. 2020. „Natural Fibre as Reinforcement for Vintage Wood”. *Materials*, 13, 4799.

[14] Wdowiak-Postulak Agnieszka. 2021. „Basalt Fibre Reinforcement of Bent Heterogeneous Glued Laminated Beams”. *Materials*, 14, 51.

[15] Wdowiak A. 2019. *Właściwości strukturalno-wytrzymałościowe zginanych belek drewnianych wzmocnionych kompozytami włóknistymi*. Ph. D. Thesis, Kielce University of Technology, Kielce, Poland, 12 April.

[16] Projekt „Bioklimatyczna Jednostka Modularna z drewna klejonego krzyżowo w powiązaniu z przestrzenią otwartą, ekologiczną – zielony korytarz. Projekt wykonany przez studentkę Politechniki Świętokrzyskiej A. Hajdenrajch, promotor dr hab. inż. ach. Lucjan Kamionka, prof. PŚk. Praca nagrodzona w ogólnopolskim konkursie na najlepszą magisterską pracę dyplomową „Drewno w Architekturze”. 2021 r.

Przyjęto do druku: 25.01.2022 r.