

numerycznych mogą stanowić wskazówkę dla inżynierów podczas analiz konstrukcji sklepionych z zasypką. Należy pamiętać, że znalezienie dwóch identycznych sklepień w istniejących obiektach jest mało prawdopodobne, a nawet niemożliwe. Każdą konstrukcją tego typu należy traktować jako jedyną w swoim rodzaju i prowadzić jak najszerze badania mające na celu poznanie właściwości zastosowanych materiałów oraz historii obiektu, a zwłaszcza historii dotychczasowych remontów, przebudów itp.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Royles R., Hendry A. W., Model tests on masonry arches. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Part 2. Research and Theory., 91, 1991, s. 299–321
- [2] Fairfield C. A., Ponniah D., Model tests to determine the effect of fill on buried arches. "Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Structures and Buildings", 104, 1994, s. 471–482
- [3] Prentice D. J., Ponniah D., Testing of multi-span model masonry arch bridges. Bridge: Assessment Management and Design, s. 169–174, 1994
- [4] Hughes T. G., Davies M. C. R., Taunton P. R., The influence of soil and masonry type on the strength of masonry arch bridges. Arch Bridges. History, analysis, assessment, maintenance and repair., s. 321–330, 1998
- [5] Gilbert M., Smith F. W., Wang J., Callaway P. A., Melbourne C., Small and large-scale experimental studies of soil-arch interaction in masonry bridges. 5th International Conference on Arch Bridges ARCH'07, s. 381–388, 2007

- [6] Callaway P., Gilbert M., Smith C.C., Influence of backfill on the capacity of masonry arch bridges, Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Bridge Engineering, 165 (3), s. 147–157, 2012
- [7] Zając E., Analiza statyczna sklepień walcowych z uwzględnieniem ich współpracy z zasypką. Inżynieria i Budownictwo, 1:29–32, 1989
- [8] Janowski Z., Hojdys Ł., Krajewski P., Analiza statyczna wpływu zasyпки na pracę sklepienia walcowego. Czasopismo Techniczne, 13-B, s. 79–95, 2006
- [9] Krajewski P., Analiza wpływu materiału zasypowego na nośność sklepień murowych. Praca Doktorska, Politechnika Krakowska, 2010
- [10] Krajewski P., Janowski Z., Wpływ rodzaju materiału zasypowego na pracę sklepień walcowych, „Czasopismo Techniczne”, 3-B, s. 187–204, 2011
- [11] Hojdys Ł., Kamiński T., Krajewski P., Experimental and numerical simulations of collapse of masonry arches. 7th International Conference on Arch Bridges (ARCH'13), Split-Trogir, Croatia, s. 739–746, 2013
- [12] Krajewski P., Hojdys Ł., Experimental studies on buried barrel vaults, International Journal of Architectural Heritage, DOI:10.1080/15583058.2013.860499 (w druku)
- [13] Hojdys Ł., Krajewski P., Buried vaults with different types of extrados finishes – experimental tests, 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions SAHC, 2014, Mexico
- [14] Lourenco P. B.: Computational Strategies for Masonry Structures. Praca doktorska, Delft University of Technology, 1996
- [15] Holtz R. D., Lee W. F., Internal stability analyses of geosynthetic reinforced retaining walls. Raport instytutowy, Department of Civil and Environmental Engineering University of Washington and Washington State Transportation Center (TRAC) University of Washington, 2002

Materiały budowlane na bazie drewna – obecny stan wiedzy i możliwości stosowania

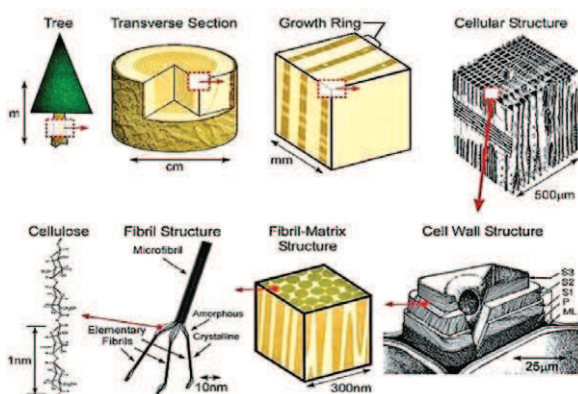
Dr inż. Dorota Kram, Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

Drewno jako materiał budowlany znany jest człowiekowi, odkąd zaczął

budować własne schronienia. Na przełomie milionów lat nauczyliśmy się go stopniowo obrabiać, by następnie wraz z rozwojem

wiedzy zacząć wnikać w jego strukturę i uporządkowanie, wykorzystując coraz bardziej jego zalety i wyszukując mu coraz to nowsze obszary zastosowań. Z tego też względu drewno nie jest już dziś jedynie prostym w pozyskiwaniu materiałem budowlanym, ale stało się ono dla nas surowcem, materiałem wyjściowym do produkcji innych użytecznych człowiekowi wyrobów. W Polsce materiał ten mimo, że wraca do łask, swoje lata świetności chwilowo ma za sobą, natomiast świat nadal odkrywa go na nowo, dając mu coraz nowsze obszary zastosowań.

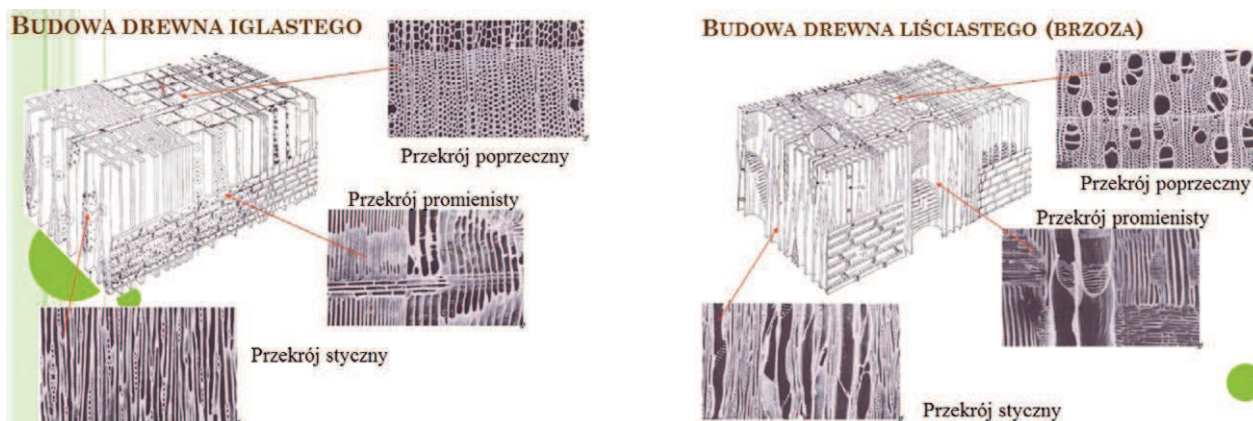


Rys. 1. Struktura celulozy – od pnia (kłody drewna) po cząsteczkę [5]

2. Struktura drewna – od ogółu do szczegółu

Mimo że większość z nas postrzega drewno w skali makro, przez pryzmat belki czy kłody, należy na nie dziś spojrzeć nieco odmiennie, dostrzegając jego walory również w skali mikro.

Pod względem technicznym drewno jest naturalnym materiałem kompozytowym o osnowie polimerowej. Ciągłe włókna polimerowe są tu jednoosiowo podłużnie



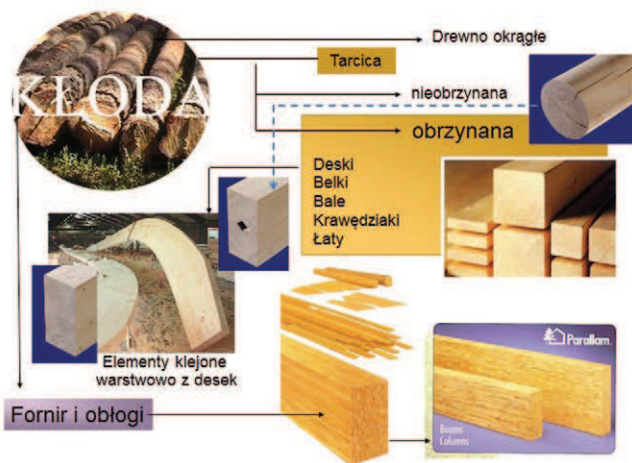
Rys. 2. Różnica w budowie komórek drzew iglastych i liściastych

zorientowanymi komórkami, które nadają temu materiałowi specyficzne anizotropowe właściwości. Anizotropię łatwo dostrzec we właściwościach mechanicznych drewna litego porównując np. wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż (dla klasy C24 – $f_{t,0,k} = 14$ MPa) i w poprzek włókien ($f_{t,90,k} = 0,4$ MPa). Przyczyną tego jest komórkowa budowa tego „żywego organizmu” niewidoczna i nie do uporządkowania w skali makro. Do tego dochodzi jeszcze indywidualizm gatunków botanicznych drzew iglastych i liściastych oraz naturalne wady drewna, jakie mogą powstać lokalnie, np. stwardnienia po gałęziach w postaci sęków. Stopniowe zagłębienie w głąb komórki i rozwój technologii pozwolił na porządkowanie niedoskonałości natury. Z „perspektywy” skali (w jakiej obserwujemy drewno) możemy dziś lepiej zrozumieć właściwości drewna i rozwijać nowe kierunki przetwarzania. Przez długie lata w zakresie zastosowań konstrukcyjnych w budownictwie

dominowały gatunki drzew iglastych (sosna, świerk, modrzew i jodła). Gatunki drzew liściastych znalazły zastosowanie głównie w zakresie wykończenia budynku, chociaż spotykaliśmy mosty z dębiny czy dyble z grzechodrzewów. Ten kierunek działania daje się obecnie łatwo wytłumaczyć, kiedy popatrzymy na budowę przyrostów rocznych i samej komórki w nieco innej skali. Przyglądając się uważnie ilustracji struktury celulozy (rys. 1) możemy zrozumieć, dlaczego w doborze elementów na wielkogabarytowe rozwiązania konstrukcyjne przeważa drewno iglaste. Bardziej „uporządkowana” budowa dawała pewniejsze (bezpieczniejsze) rozwiązania. Dziś jednak tamiemy kanony ustanowione przez lata. Gatunki drzew liściastych (czasem nawet drzew owocowych), niegdyś odsunięte od zastosowań konstrukcyjnych z uwagi na swoją budowę, po „uporządkowaniu” ich struktury przebijają się do rozwiązań konstrukcyjnych (rys. 2).

Tabela 1. Przykładowa systematyka materiałów drewnopochodnych w zależności rozdrobnienia włókien i sposobu ich ponownego scalania

	Baza	Produkt/nazwa handlowa	Reprezentatywny ustrój konstrukcyjny	Orientacja włókien kolejnych warstw	
Materiały na bazie drewna	drewno lite – jako materiał wyjściowy	Tarcica obrzynana z drewna iglastego lub liściastego w tym modyfikowane np. termicznie ThermoWood	belka np. deski, belki, krawędziaki	równoległe	
		klejone i/lub prasowane	drewno klejone warstwowo z desek – GL (z ang. Glulam) BSH (z niem. Brettschichtholz) SWP (z ang. Solid Wood Panel) CLT (z ang. Cross Laminated Timber) – drewno klejone warstwowo w układach ortogonalnych	głównie belka, ale też płyta o pionowych układach spoin	równoległe
			plyty i tarcze	ortogonalne	
	V – fornir	Sklejka	plyta	ortogonalne	
		LVL (z ang. Laminated Veneer Lumber) elementy klejone z fornirów	belka i płyta	ortogonalne jak i równoległe	
	S – wióry	LSL (z ang. Laminated strand lumber)	belka	równoległe	
		PARALAM PSL (Parallel strand lumber)	belka	równoległe	
		OSB (z ang. Oriented strand board)	plyta	podłużnie	
	D – włókna, wełna drzewna	Trociny – płyty trocinowe i trocinobetonowe MDF (z ang. Medium Density Fiberboard) Płyty z wełny drzewnej wiązane cementem lub magnezem	plyta	losowo	
		kompozyt	WPC (z ang. Wood Polymer Composites)	deska	losowo

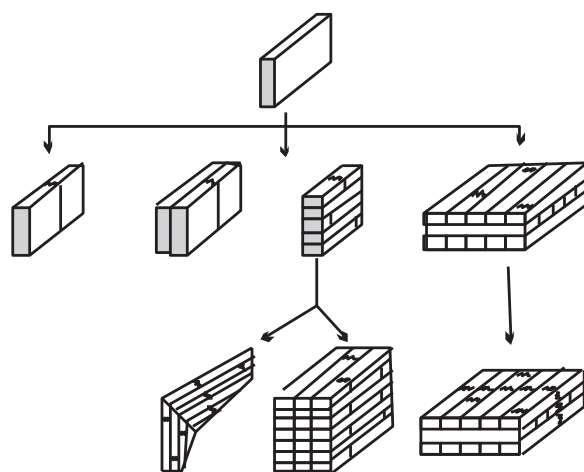


Rys. 3. Przykładowe kierunki przetwarzania drewna

To „porządkowanie” odbywa się poprzez szereg procesów technologicznych m.in. poprzez rozdrobnienie i ponowne scalenie włókien drzewnych.

3. Tworzywa drzewne i materiały drewnopochodne

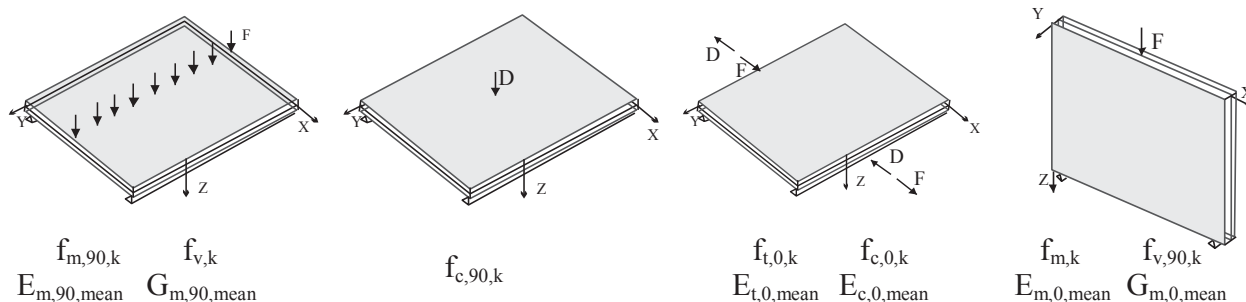
W wyniku mechanicznej, chemicznej lub termicznej modyfikacji drewna litego lub sklejenia, sprasowania rozdrobnionych fragmentów kłody (desek, fornirów, włókien, trocin lub wełny drzewnej) powstaje tworzywo stanowiące bazę materiałów drewnopochodnych. Zasadniczo tworzywa drzewne i materiały drewnopochodne, które wykorzystujemy w budownictwie, można pogrupować ze względu na obróbkę drewna, stopień rozdrobnienia i ukierunkowanie włókien (tabela 1). Zakres zastosowania materiałów drewnopochodnych w budownictwie jest zróżnicowany i zależy od właściwości reprezentowanych przez tworzywo drzewne. Przy tak zróżnicowanych produktach obecnie obowiązująca norma z zakresu projektowania konstrukcyjnego Eurokod 5 (PN-EN-1995-1-1) w stosunku do swojej poprzedniczki PN/B-03150 stała się opracowaniem ogólnych zasad projektowania bez powoływania właściwości mechanicznych. Właściwości te grupowane są w kolejnych normach lub publikowane przez producentów. Normy te stale są poszerzane i porządkowane.



Rys. 4. Elementy klejone warstwowo i drewno lite klejone warstwowo wg [3]



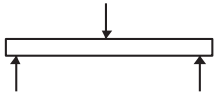
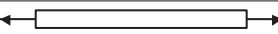
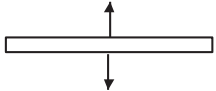
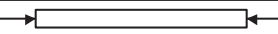
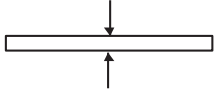
4. Normalizacja materiałów drewnopochodnych dla celów projektowania konstrukcyjnego

W zbiorach PKN-u znajdziemy około 250 norm z zakresu drewna i materiałów drewnopochodnych. W zależności od naszych potrzeb zawodowych interesujemy się tylko ich wąskim wycinkiem. Jednak kompletowanie tych norm nie jest łatwe, gdyż często się zmieniają. Przykładowo dotychczasowa norma PN-EN 1194:2000 Konstrukcje drewniane – Drewno klejone warstwowo – Klasy wytrzymałości i określenie wartości charakterystycznych została wycofana i zastąpiona bogatszą wersją PN-EN 14080:2013-07 Konstrukcje drewniane – Drewno klejone warstwowo i drewno lite klejone warstwowo – Wymagania, obejmująca nie tylko elementy GL, ale również inne formy elementów klejonych na bazie desek, których ostatni szybki rozwój warunkuje opracowywanie kolejnych norm wspomagających projektowanie. Znana do tej pory forma drewna klejonego warstwowo GL, o poziomym układzie spoin, wykorzystywana w rozwiązaniach belkowych, została wzbogacona o układy płytowe oraz o poziome spoiny dając inny, bogatszy zakres zastosowania tym produktom i równocześnie korzystniejsze właściwości. W ślad za tym przy doborze właściwości materiałów drewnopochodnych w trakcie projektowania wymaga się od projektanta wiedzy z zakresu



Rys. 5. Oznaczenia wytrzymałości dla elementów płytowych w zależności od kierunku oddziaływania wg [1]

Rys. 6. Oznaczenia cech wytrzymałościowych dla wyrobów LVL [4]

Warunki obciążenia	Ustawienie próbek forniru klejonego warstwowo LVL	
	KRAWĘDZIOWE 	PŁASZCZYZNOWE 
	$f_{m,0,edge}$ $f_{v,0,edge}$	$f_{m,0,flat}$ $f_{v,0,flat}$
	$f_{t,0}$	$f_{t,0}$
	$f_{t,90,edge}$	$f_{t,90,flat}$
	$f_{c,0}$	$f_{c,0}$
	$f_{c,90,edge}$	$f_{c,90,flat}$

technologii, gdyż technologia i ukierunkowanie włókien generują właściwości. W tym zakresie pomagają nam normy definiujące produkt i jego właściwości.

Terminy i definicje dotyczące płyt drewnopochodnych stosowanych w budownictwie zawarte są przede wszystkim w normie *PN-EN 13986 Płyty drewnopochodne do stosowania w budownictwie. Właściwości, ocena zgodności i oznakowanie*. W normie tej uporządkowano szereg definicji, chociaż i one wymagają niejednokrotnie uzupełnienia i wyjaśnienia, zwłaszcza w zakresie właściwości

mechanicznych przy warstwowej pracy płyty.

Dotychczasowa ilustracja, jaką znajdziemy w normie PN/B-03150:2000, przestała nam wystarczać, nie jest już precyzyjna i została wycofana z obecnej wersji normy [1]. Przy bardzo zróżnicowanych płytach taka systematyka byłaby trudna. Dla porównania przedstawiono (rys. 5), jak oznaczano indeksy wytrzymałości dla płyt wg PN/B-03150 oraz LVL.

Ponadto dla elementów płytowych np. przy zginaniu w zależności od ułożenia włókien w warstwach zewnętrznych podawane są dwie wartości wytrzymałości, co dodatkowo komplikuje czytelność dla mniej wtajemniczonych. Dlatego też, tak ważne jest sięganie po normy „materiałowe” przy projektowaniu konstrukcyjnym, a wiedza o technologii i budowie tworzywa pomoże w świadomym podejmowaniu decyzji.

W tabeli 2 zacytowano normy, po które warto sięgnąć przy projektowaniu konstrukcji na bazie drewna i materiałów drewnopochodnych. Część z tych norm, jak np. dla sklejki, to tylko „wytyczne dla producentów” jak należy publikować właściwości mechaniczne. Niestety rzeczywistość na rynku bywa różna i oznaczenia niektórych producentów też.

5. I co dalej?

Różnorodność właściwości tworzyw drewnnych wytycza ich produktom coraz szersze pola zastosowań. Drewno lite miało ograniczoną geometrię, podlegało korozji biologicznej i charakteryzowało się małą odpornością na pożar, losowo pękało, wreszcie występowało tylko w układach belkowych. Nowe technologie tworzą dziś tworzywa z materiału mocno anizotropowego i słabo

Tabela 2. Zestawienie istotniejszych norm dotyczących materiałów drewnopochodnych

Lp	Numer normy	Tytuł normy/Zakres
1.	PN-EN 1438:2002pl	<i>Symbole dla drewna i materiałów drewnopochodnych</i> Zdefiniowano tu symbole do stosowania w dokumentach dotyczących drewna litego i wszystkich materiałów drewnopochodnych.
2.	PN-EN 338:2011pl	<i>Drewno konstrukcyjne – Klasy wytrzymałości</i> W normie tej podano wartości charakterystyczne wytrzymałości i gęstości dla każdej klasy drewna litego iglastego (np. C24) i liściastego (np. D24)
3.	PN-EN 14080:2013-07 n	<i>Konstrukcje drewniane – Drewno klejone warstwowo i drewno lite klejone warstwowo – Wymagania</i> Określono wymagania dotyczące drewna klejonego warstwowo w konstrukcjach nośnych (należy tu rozumieć drewno klejone z desek)
4.	PN-EN 13986:2006pl	<i>Płyty drewnopochodne do stosowania w budownictwie – Właściwości, ocena zgodności i oznakowanie</i> Zdefiniowano płyty drewnopochodne do stosowania w budownictwie i określono ich istotne właściwości
5.	PN-EN 14279+A1: 2009 en	<i>Drewno klejone warstwowo z fornirów (LVL) – Definicje, klasyfikacja i wymagania</i> Podano definicje, klasyfikację oraz określono wymagania dotyczące drewna klejonego warstwowo z fornirów (LVL)
6.	PN-EN 14374:2005pl	<i>Konstrukcje drewniane – Fornir klejony warstwowo (LVL) – Wymagania</i> Określono wymagania dotyczące forniru klejonego warstwowo do zastosowań konstrukcyjnych.
7.	PN-EN 12369-1:2002pl	<i>Płyty drewnopochodne – Wartości charakterystyczne do projektowania – Część 1: Płyty OSB, płyty wiórowe i płyty pilśniowe</i> Określono dane dotyczące wartości charakterystycznych do stosowania podczas projektowania konstrukcji.
8.	PN-EN 12369-2:2011en	<i>Płyty drewnopochodne – Wartości charakterystyczne do projektowania – Część 2: Sklejka</i> Podano wartości charakterystyczne odnośnie właściwości mechanicznych sklejki (zasady ich oznaczania)
9.	PN-EN 12369-3:2008en	<i>Płyty drewnopochodne – Wartości charakterystyczne do projektowania – Część 3: Płyty z drewna litego</i> Określono dane dotyczące wartości charakterystycznych do stosowania podczas projektowania konstrukcji.



Rys. 7. Deski pomostowe z WPC Wood Polymer Composites [6]



Rys. 8. Śmiałe projekty na bazie technologii drewna klejonego warstwowo (budynki 20 i 32 kondygnacje) [7]

uporządkowanego, materiały budowlane „uporządkowane” i bardziej przewidywalne co do właściwości.

Dzięki kolejnym przeobrażeniom drewno z materiału słabo odpornego na korozję biologiczną staje się z jednej strony kompozytem polecanym w środowiskach narażonych na zawilgocenie, z drugiej strony ciekawym materiałem konstrukcyjnym dającym szansę budowania z niezwykłym rozmachem.

Przykładem niesamowitego rozmachu i najświeższym marzeniem architektów jest realizacja w Sztokholmie czterech 20-kondygnacyjnych apartamentowców o powierzchni 25 tysięcy m² oraz projekt 32-kondygnacyjnego energooszczędnego biurowca z materiałów powstałych na bazie drewna, który planowany jest na rok 2023 (rys. 8).

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN/B-03150:2000pl, Konstrukcje drewniane. Obliczenia statyczne i projektowanie
 [2] PN-EN 13986:2006pl, Płyty drewnopochodne do stosowania w budownictwie. Właściwości, ocena zgodności i oznakowanie
 [3] PN-EN 14080:2013-07en, Konstrukcje drewniane – Drewno klejone warstwowo i drewno lite klejone warstwowo – Wymagania
 [4] PN-EN 14374:2005-09pl, Konstrukcje drewniane – Fornir klejony warstwowo (LVL) – Wymagania
 [5] Lindsay P., Eleanor T., Strengthening Construction Materials via Incorporation of Cellulose Nanocrystals: A Sustainable Biomaterial Pittsburgh 2012 – <http://136.142.82.187/eng12/Chair/pdf/4213.pdf>
 [6] Petschek P., Holzbau <http://technikseiten.hsr.ch>, 2010
 [7] Lanz K., Weiteres Holzbau-Großprojekt in Stockholm geplant Holzbau, Austria Fachmagazin für Holzbau und nachhaltige Architektur, nr 4/2015 – <http://www.holzbauaustria.at>

CLT – nowe możliwości dla budownictwa drewnianego

Dr inż. Dorota Kram, inż. Magdalena Stelmach, Politechnika Krakowska

1. CLT – czym właściwie jest?

Skrót CLT (z ang.: Cross Laminated Timber) oznacza, w dosłownym tłumaczeniu na język polski, drewno klejone warstwowo poprzecznie (krzyżowo). Przez to pojęcie rozumie się materiał przeznaczony do produkcji elementów płytowych, tzw. płyt CLT. Płyta ta składa się z nieparzystej liczby warstw desek, zorientowanych wzajemnie prostopadle, przyklejonych jedna do drugiej (rys. 1, 3). Proces produkcji elementów CLT (rys. 2) otwiera pozyskanie surowych desek tartacznych, o odpowiedniej wilgotności, wytrzymałości i jakości wizualnej. Niektórzy producenci rozróżniają klasę jakości wizualną, charakteryzującą się odpowiednim doбором desek na powierzchnię zewnętrzną tak, aby gotowe elementy mogły być stosowane bez zakrywania ich warstwami



Rys. 1. Płyta CLT (3- i 5-warstwowa) [8]

wykończeniowymi oraz klasę konstrukcyjną. Gotowe deski łączone są złączami klinowymi w długie lamele o odpowiednio wyprofilowanych powierzchniach bocznych, w celu dalszego połączenia ich w pojedyncze warstwy. Na koniec, pojedyncze warstwy przyklejane