

dr inż. Dorota Kram^{1)*}
 ORCID: 0000-0003-3580-7237
 mgr inż. Klaudia Śliwa-Wieczorek¹⁾
 ORCID: 0000-0002-4148-1491
 mgr inż. Tomasz Kochański¹⁾
 ORCID: 0000-0002-0780-9051

Technologie płytowe na bazie drewna i kierunki ich rozwoju

Wood-based plate technologies and directions of their development

DOI: 10.15199/33.2020.11.03

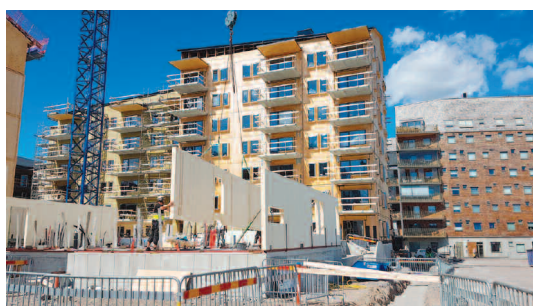
Streszczenie. Stale doskonalone technologie przetwórstwa drewna sprzyjają tendencjom powrotu do średnio- i wielkogabarytowej prefabrykacji. W tym przypadku drewnopochodne płyty stanowią składowe złożonych elementów ściennych i stropowych. Artykuł omawia wybrane kierunki rozwiązań płytowych i sygnalizuje niektóre trendy dalszego rozwoju.

Słowa kluczowe: drewno; materiały drewnopochodne; płyty drewnopochodne; LVL, sklejka; CLT.

Abstract. Continuously improved wood processing technologies favor the tendency to return to medium- and large-size prefabrication. Wood-based panels are independent solutions, which are components of complex wall and ceiling elements. The article discusses selected directions of common plate solutions and indicates some trends of further development.

Keywords: wood; wood-based materials; wood-based panels; LVL; plywood, CLT.

Na polskim rynku budowlanym najbardziej rozpoznawalne są elementy prętowe z drewna litego i klejonego warstwowo z desek. Jednak architektonicznie spektakularne konstrukcje powstają też na bazie płyt drewnopochodnych. Pozyskuje się je na wiele sposobów, głównie skleijając deski, fornir, wióry lub wełnę drzewną. Wśród tych produktów na polskim rynku najbardziej rozpoznawalne są: sklejka; płyta OSB i niekonstrukcyjny MDF. Kraje skandynawskie wykorzystują najczęściej LVL, ale w ostatnich czasach Europa zachwyca się również prefabrykatami na bazie CLT (fotografie 1 i 2). Właściwości warstwowych płyt konstrukcyjnych typu CLT, LVL czy sklejki silnie powiązane są z główną cechą drewna – anizotropią. Przez świadomy dobór kierunku włókien



Fot. 2. Osiedle mieszkaniowe w Växjö (Szwecja)

Fot. W. Derkowski

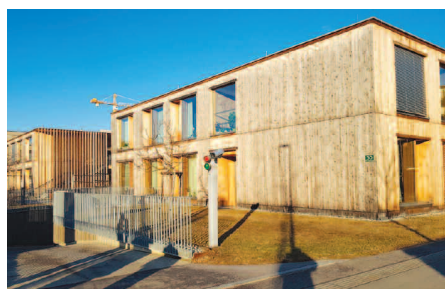
Photo 2. Housing estate in Växjö (Sweden)

zewnętrznych warstw płyty, dobieramy właściwości sprzyjające zwiększeniu nośności. Jednak nieumiejętne posługiwanie się tymi cechami może prowadzić do błędów lub niepełnego wykorzystania

potencjału drzemącego w płycie.

Część płyt drewnopochodnych powstaje w wyniku sklejenia warstw drewna (włókien) wzajemnie do siebie prostopadłych (ortogonalnych) (tabela 1). Rozważania dotyczące nośności tych nowych „produktów” należy rozpocząć od wytrzymałości na rozciąganie drewna litego: wzdłuż ($f_{t,0,k}$)

i w poprzek włókien ($f_{t,90,k}$) (tabela 2). Znaczna różnica między parametrami ($f_{t,0,k}$ kilkanaście MPa, a $f_{t,90,k}$ prawie bliska 0) ogranicza efektywne zwiększanie grubości płyt o ortogonalnej bu-



Fot. 1. Osiedle mieszkaniowe w Grazu (Austria)

Fot. A. Sobala-Gwosdz

Photo 1. Housing estate in Graz (Austria)

¹⁾ Politechnika Krakowska; Wydział Inżynierii Ładowej

^{*} Adres do korespondencji: dkram@pk.edu.pl

Tabela 1. Wybrane elementy płytowe w zależności od kierunku włókien

Table 1. Selected plate elements (blue) against the grain directions

Główny składnik wyrobu	Wzajemna orientacja włókien w kolejnych warstwach		losowo (brak uporządkowania)
	w jednym kierunku	ortogonalnie	
	Wyroby klejone /i prasowane		
Deski i bale	belki klejone warstwowo z desek – GL30	płyty klejone warstwowo z desek CLT	
Fornir V	elementy formowane podłużnie LVL (laminated venner lumber)	sklejka; LVL orientowana na krzyż	
Wióry S	LSL, PARALAM PSL SCRIMBER albo TIM-TEK	P5, P7, OSB zorientowane płyty standardowe	
Włókna, wełna drzewna D	produkty ekstrudowane		płyty wiórowe niezorientowane MDF i HDF

Tabela 2. Wybrane klasy wytrzymałości drewna iglastego wg EN 338:2016 [5]

Table 2. Selected strengths of classes for softwood according to EN 338:2016 [5]

Parametr	Klasa		
	C16	C24	C30
Wytrzymałość [N/mm ²] na:			
– zginanie $f_{m,k}$	16	24	30
– rozciąganie wzdłuż włókien $f_{t,0,k}$	8,5	14,5	19
– rozciąganie w poprzek włókien $f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4

domie (np. sklejka czy CLT). Jeżeli bowiem płytę CLT, z trzema warstwami na bazie drewna klasy C24, ułożymy włóknami zewnętrznej warstwy płyty prostopadłe do podpór, to podczas pracy przy zginaniu włókna te są rozciągane wzdłuż i w przypadku zewnętrznej warstwy płyty mamy $f_{t,0,k}^{C24} = 14,5$ MPa. Gdyby tę samą płytę umieścić włóknami zewnętrznymi równoległe do podpór, to wytrzymałość wyniesie $f_{t,90,k}^{C24} = 0,4$ MPa.

Projektując konstrukcje z wykorzystaniem różnych płyt na bazie drewna, warto też zwrócić uwagę na zmieniającą się wytrzymałość np. przy zginaniu wraz ze zwiększającą się grubością płyt (tabela 3 i 4). Jak widać, zwiększającej się grubości płyt towarzyszy zmniejszająca się nośność (tabela 3). Wynika to ze znacznej różnicy pomiędzy $f_{t,0,k}$ i $f_{t,90,k}$.

Tabela 3. Wybrane właściwości płyt OSB/3 wg PN-EN 12369-1:2002 [3]

Table 3. Selected properties of OSB/3 boards according to PN-EN 12369-1:2002 [3]

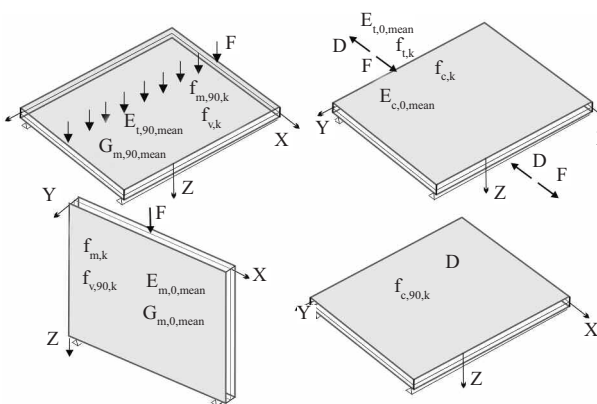
Grubość t_{nom} [mm]	Gęstość ρ [kg/m ³]	Wytrzymałość charakterystyczna [N/mm ²] na:							
		zginanie		rozciąganie		ściskanie		ściskanie prostopadłe do płyty	ściskanie w płaszczyźnie płyty
		0	90	0	90	0	90	f_v	f_t
> 6 do 10	550	18,0	9,0	9,9	7,2	15,9	12,9	6,8	1,0
> 10 do 18	550	16,4	8,2	9,4	7,0	15,4	12,7	6,8	1,0
> 18 do 25	550	14,8	7,4	9,0	6,8	14,8	12,4	6,8	1,0

Tabela 4. Wytrzymałość na zginanie sklejki bukowej wg PN-B-03150 [6]

Table 4. Bending strength of beech plywood according to PN-B-03150 [6]

Właściwość	Liczba fornirów (warstw)					
	≤ 7	9	11	13	15	
	grubość sklejki [mm]					
	8 – 10	12	15	18	≥ 20	
Wytrzymałość na zginanie prostopadłe do płaszczyzny płyty $f_{m,90,k}$ [N/mm ²]	68	61	52	46	41	
[MPa]	11	18	28	34	39	

Prawidłowy opis wytrzymałości płyty w zależności od jej usytuowania w konstrukcji ma kluczowe znaczenie w procesie wymiarowania i może rzutować na realizację budynku (dokumentacja musi mieć czytelnie naniesione kierunki włókien w warstwach zewnętrznych). Przykładem niech będzie sklejka (tabela 4) [4], gdzie wytrzymałość na zginanie prostopadłe do płaszczyzny płyty ($f_{m,90,k}$ rysunek 1) ma w tabeli dwie wartości. Dobór właściwej wartości $f_{m,90,k}$ uzależniony jest od kierunku działania sił rozciągających przy zginaniu w stosunku do włókien na zewnętrznych powierzchniach płyty,



Rys. 1. Oznaczenie wytrzymałości (znaczenie indeksów) płyt drewnopochodnych typu OSB lub sklejka [6]

Fig. 1. Determination of strength properties (index meaning) for wood-based panels such as OSB or plywood [6]

śniej w przypadku prostych ustrojów belkowych. Przykładem niech będzie konieczność wprowadzenia do normy elementów klejonych krzyżowo (CLT) wytrzymałości na ścinanie po przystach rocznych (ściananie tarczowe – ang. *rolling shear* ($f_{r,k}$)), występujące w płytach o strukturach ortogonalnych. Analogicznym charakterystycznym parametrem tych płyt jest moduł odkształcenia postaciowego $G_{r,mean}$.

Każda nowa technologia produkcji płyt konstrukcyjnych wprowadza więc do warsztatu projektanta nowe oznaczenia i zasady wymiarowania, z którymi musi się zapoznać przed ich zastosowaniem.

Nie dotyczy to tylko CLT, ale i innych technologii płytowych z desek. Na rynku kanadyjskim i amerykańskim, oprócz technologii CLT, funkcjonują odmiany płyt na bazie desek, różniące się sposobem łączenia warstw i kierunkiem włókien w sąsiednich elementach. Do grupy tych rozwiązań technologicznych należą:

- DLT (ang. *dowel laminated timber*), elementy (deski) łączone są za pomocą kołków;

- NLT (ang. *nail laminated timber*), gdzie deski łączone są za pomocą gwoździ;

- GLT (ang. *glue laminated timber*), które są pewną analogią do elementów GL.

Inną odmianą elementów CLT na rynku europejskim jest Holz100, który powstaje podobnie jak CLT z prostopadłe ułożonej tarcicy, jednak zamiast kleju używa się kołków, analogicznie jak w DLT i stosuje warstwy skośne. Gama tych rozwiązań zamyka technologia na bazie betonu i drewna, jaką jest WCC (*wood – concrete-composite*), dzięki której kształtowane są drapacze chmur.

Prefabrykacja na bazie płyt drewnopochodnych

Drewnopochodne elementy płytowe stają się również załącznikiem szeroko pojętej prefabrykacji, która obejmuje segmenty konstrukcji, stanowiąc gotowe

np. w przypadku płyty ze sklejki o grubości 10 mm $f_{m,90,k}$ wynosi 68 N/mm², jeżeli przy zginaniu włókna zewnętrzne „ciągnięte” są po długości. Natomiast, gdy siły rozciągające będą działać prostopadłe do włókien, to wartość ta zmniejsza się do 11 N/mm², co przy błędzie montażowym może doprowadzić do poważnych konsekwencji.

Innym problemem ustrojów płytowych jest „wprowadzanie” kolejnych nowych właściwości ze względu na ich pracę, której nie dostrzegaliśmy wcze-



CANASTOL – Water under Control

– kompletny hydrofobizator do systemów mineralnych,
– prosty w dozowaniu,
– sprawdzony w działaniu



Rettenmaier Polska

Sp. z o.o.

Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B

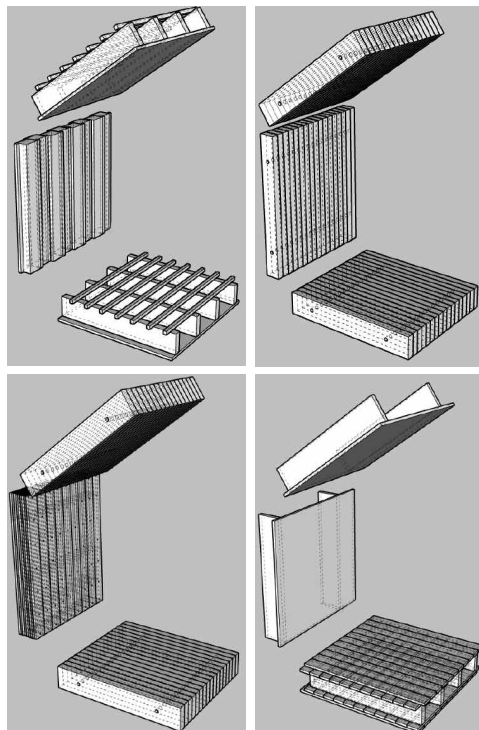
02-366 Warszawa

mobile +48 600 423 423

Tel + 48 22 608 51 00

e-mail: arbolcel@jrs.pl

rozwiązania montażowe. Na rynku europejskim jest to prefabrykacja ścian, stropów oraz stropodachów, w zależności od przyjętego rozwiązania (rysunek 2).



Rys. 2. Przykłady technologii bazujących na płytowych materiałach drewnopochodnych [2]

Fig. 2. Examples of technologies based on wood-based plate materials [2]

Podatne połączenie jako nowy kierunek kształtowania elementów klejonych

Wśród połączeń podatnych wyróżniają się powszechnie stosowane łączniki trzpieniowe oraz nowoczesne połączenia klejone z wykorzystaniem klejów akrylowych, poliuretanowych i polimerowych, a także żywic epoksydowych oraz silikonów.

Dzięki wprowadzeniu połączeń klejonych na bazie polimerów możliwa jest eliminacja lub znaczne ograniczenie występowania koncentracji naprężeń, jak ma to miejsce w przypadku połączeń trzpieniowych. Szczególnie znaczenie ma eliminacja tego zjawiska w obiektach drewnianych poddanych oddziaływaniu silnych wiatrów, trzęsień ziemi, czy dużych gradientów temperatury oraz wilgotności [8].

Najnowsze badania krajowe, związane z podatnymi połączeniami kle-

jonymi, dotyczą możliwości zastosowania:

- klejów poliuretanowych w połączeniach drewnianych półek ze szklanym środkiem w zespolonych belkach drewniano-szklanych [7];

- klejów poliuretanowych do połączeń drewnianych w aspekcie naprawy historycznych konstrukcji z drewna [1];

- nowoczesnych, podatnych połączeń klejonych w prefabrykowanym budownictwie drewnianym.

Pierwsze prace badawcze obejmowały: analizę badanych materiałów ze wskazaniem kryteriów wytrzymałościowych; badania przyczepności polimeru do drewna metodą pull-off (na odrywanie); badania ścinania warstwy polimeru między elementami drewnianymi oraz badania zginania elementów drewnianych zespolonych polimerem. Uzyskane wyniki pozwoliły wnioskować, że technologia podatnego (ciągliwego) klejenia może przynieść wymierne korzyści [8].

Literatura

- [1] Kwiecień A., K. Rodacki, B. Zajac. 2019. „Mechanical behavior of polyurethane adhesives applied to timber joints in repair of historical timber structures”. *Structural Analysis of Historical Constructions*. Springer, Cham: 1603 – 1612.
- [2] Lignatec 20/2007 Massivholzbau, Zurich, ISSN 1421-0320.
- [3] PN-EN 12369-1:2002 Płyty drewnopochodne – Wartości charakterystyczne do projektowania – Część 1: Płyty OSB, płyty wiórowe i płyty pilśniowe.
- [4] PN-EN 12369-2:2011 Płyty drewnopochodne. Wartości charakterystyczne do projektowania. Część 2: Sklejka.
- [5] EN 338:2016 Drewno konstrukcyjne – Klasy wytrzymałości.
- [6] PN-B-03150:2000 Konstrukcje drewniane – Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [7] Rodacki K. 2017. *Nośność belek zespolonych drewniano-szklanych poddanych obciążeniom wielokrotnie zmiennym*. Praca doktorska. Kraków. Politechnika Krakowska.
- [8] Śliwa-Wieczorek K., B. Zajac, T. Kozik. 2020. „Tests of polymeric adhesive joints in aspect of their application in prefabricated timber structures”. *Archives of Civil Engineering* 66.1, 113 – 125.

Przyjęto do druku: 25.10.2020 r.