

DOROTA KRAM*

DREWNO NATURALNYM SUROWCEM
WSPÓŁCZESNEGO BUDOWNICTWATHE WOOD AS THE NATURAL MODERN
BUILDING MATERIAL

Streszczenie

Drewno jako naturalny, ekologiczny surowiec budowlany nadal przechodzi przeobrażenia. Od drewna litego, poprzez różnorodne formy przetwarzania tego surowca dochodzimy dziś do rozwiązań zwiększających izolacyjność przegród i bezpieczeństwo przeciwpożarowe. Stare negatywne właściwości drewna w nowych rozwiązaniach materiałowych tego surowca są znacząco łagodzone i otwierają nowe możliwości w zakresie bezpiecznego i niskoenergetycznego budownictwa. W artykule proponuję przegląd współczesnych rozwiązań materiałowych (CLT, PSL, LVL) oraz pokazanie możliwości tego surowca dla współczesnego budownictwa kubaturowego, z naciskiem na rozwiązania niskoenergetyczne.

Słowa kluczowe: drewno, budownictwo niskoenergetyczne, technologie tworzyw drzewnych, CLT, PSL, LVL

Abstract

Wood as natural, ecological building material is still in a process of transformation. Starting from the solid wood, through a variety of forms of wood processing we come nowadays to solutions increasing the wall insulation and the fire safety. The old negative properties of wood in new material solutions are significantly reduced. As the result of these changes the new possibilities in safety and low-energy building are opened. A review of modern material solutions (CLT, PSL, LVL) as well as possibilities of wood employment for modern cubatural, especially the low-energy, building are presented in this paper.

Keywords: the wood, the low energy building, technologies of wood materials, CLT, PSL, LVL

* Dr inż. Dorota Kram, Zakład Budownictwa i Fizyki Budowli, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

1. Drewno – ekologiczny surowiec tworzyw drzewnych

Współczesny polski sektor drzewny charakteryzuje się dziś dużym zróżnicowaniem branżowym. Występujące w tym sektorze branże to: tartaczna (7% rynku), płyt drewnopochodnych (12%), drewnianej stolarki budowlanej (9%), opakowań z drewna (2%), meblarska (40%), celulozowo-papiernicza (26%) i pozostałe (4%) [1]. Branże, które należą do rynku budowlanego, ekonomicznie wypełniają jedynie 28% tego rynku. To niewiele, zwłaszcza na tle pozostałych państw rynku europejskiego i światowego. Przyczyny takiego stanu można upatrywać w spuściźnie drugiej połowy ubiegłego stulecia, w której to handel surowcami był bardziej opłacalny niż inwestowanie w nowe technologie bardzo wrażliwego surowca. Drewno mimo wielu swych zalet, wśród przeciwników miało i ma bardzo mocno eksponowane dwie główne wady: palność i podatność na niekorzystne oddziaływanie środowiska (korozję biologiczną oraz oddziaływanie technicznych szkodników drewna). Na szczęście w dzisiejszym, proekologicznie nastawionym świecie wady te są dzisiaj zaletami.



II. 1. Bilans procesów chemicznych jednego drzewa

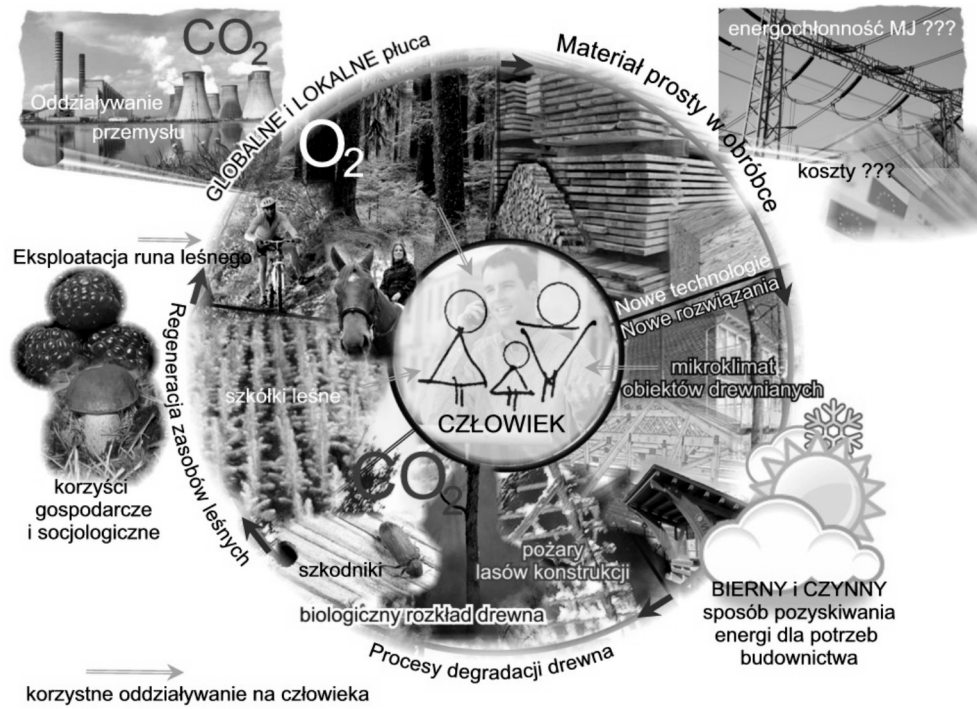
III. 1. The balance of chemical processes of one tree

W destrukcyjnych procesach spalania i rozkładu drewna dochodzi do uwalniania CO₂, zasilającego wprawdzie istniejące zasoby z procesów przemysłowych, jednak nie pozostaje on w środowisku jako śmieć podlegający długotrwałym procesom rozkładu. Specyficzna fabryka chemiczna, jaką jest drzewo, przetwarza duże zasoby CO₂, dostarczając do otoczenia spory zastrzyk tlenu (il. 1). Mało tego, szkółki leśne oraz wiekowe lasy są dla wszystkich społeczności ważnym elementem ekosystemu (mówimy o nich „zielone płuca”), dającym przy okazji obszary aktywnego wypoczynku naszych rodzin (il. 2).

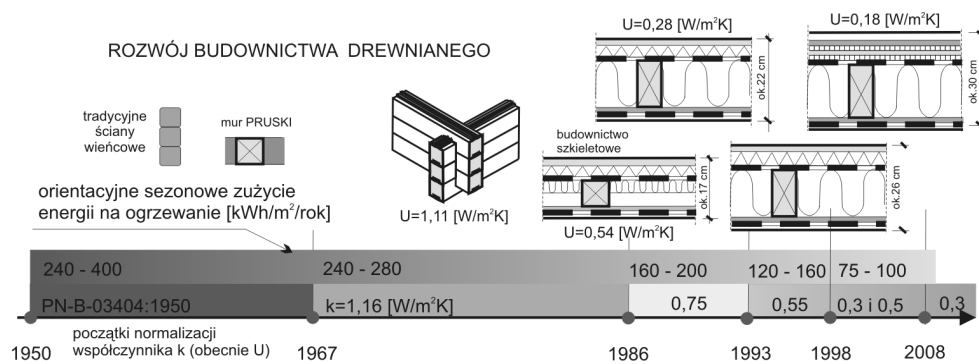
W ten ekosystem drewna bardzo ładnie wpisuje się dziś budownictwo drewniane, a w nim budownictwo energooszczędne (il. 3). Pojęcie to można i nawet należy odbierać w dwóch aspektach. Po pierwsze poprzez pryzmat energii niezbędnej do wytworzenia materiałów i wzniesienia obiektu, po drugie pod kątem energii niezbędnej do jego „komfortowego” eksploatacji (tab. 1). Oba te spojrzenia dotyczące budownictwa drewnianego utożsamiamy najczęściej z budownictwem mała kubaturowym (głównie budynki mieszkalne, małe budynki użyteczności publicznej) w technologii szkieletowej.

2. Współczesne tworzywa drzewne

W celu uporządkowania anizotropowych właściwości drewna oraz wyeliminowania negatywnych cech wynikających z jego budowy, podjęto szereg działań technologicznych, których efektem są dzisiaj szerokie możliwości tego surowca.



II. 2. Drewno w systemie ekologiczno-gospodarczym
 III. 2. The wood in ecological and economical system



II. 3. Energetyczny rozwój przegród z udziałem drewna (przykłady)
 III. 3. The energetical development of wood walls (examples)

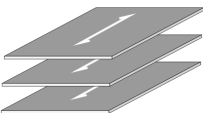
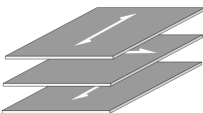

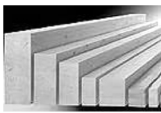



Tabela 1

Wydatkowana energia [kWh] na wytworzenie, eksploatację i rozbiórkę hali o kubaturze 1000 m³ o konstrukcji drewnianej, stalowej i żelbetowej [2]

FAZY OBIEKTU	DREWNO	STAL	ŻELBET
wytworzenie materiału	330 000	630 000	826 000
transport	60 000	60 000	121 000
użytkowanie – 20 lat	1 000 000	1 075 000	1 139 000
rozbiórka i utylizacja	90 000	62 000	137 000
Suma	1 480 000	1 827 000	2 223 000

Tabela 2

Rozwiązania technologiczne współczesnych tworzyw drewnianych [3 i własne]

Składniki tworzywa drzewnego są zorientowane (orientacja włókien)			
podstawowe składniki wyrobu zostały stworzone na bazie	w jednym kierunku	prostokątne	losowo (brak uporządkowania)
			
tarte elem. lite (deski, belki, bale) 	drewno naturalne lub modyfikowane (chemicznie lub termicznie) – C24		
kompozyty (tworzywa drzewne) sklepane lub/i prasowane			
deski 	drewno klejone warstwowo z desek – GL30 (glulam)	CLT (<i>cross laminated timber</i>)	
fornir V 	elementy fornirowe LVL (laminated veneer lumber) orientowane podłużnie	sklejka; LVL elementy fornirowe orientowane na krzyż	
wióry S 	LSL, PARALLAM PSL SCRIMBER albo TIM-TEK	OSB (<i>oriented strand board</i>) oraz płyty P4, P5, P6, P7	plyta wafłowa
włókna, wełna drz. D 	produkty ekstrudowane		plyty wiórowe niezorientowane; MDF i HDF

Początkowo działania te obejmowały porządkowanie przekroju i włókien, czyli świadome wykorzystywanie fragmentów kłody we właściwym miejscu i o preselekcjonowanych cechach. Następnie rozwinęły się technologie drewna klejonego warstwowo – najpierw z desek, a potem z kolejnych odpadów różnorodnych procesów technologicznych. Zaczęto wykorzystywać przetworzony fornir, obłogi i rozdrobnione włókna. Potem przyszła kolej na wykorzystywanie następnych odpadów przemysłu drzewnego (wiórów i wełny drzewnej) nie tylko na potrzeby opałowe, ale również kształtując wyroby o właściwościach materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych. Każdy z materiałów powstający w nieco innych procesach technologicznych, kształtuje różnorodne właściwości specyficzne dla danej technologii przetworzenia. Świadome wykorzystywanie różnorodnych cech daje architektom i konstruktorom szeroki wachlarz możliwości. Obecnie najważniejsze tworzywa drzewne to: drewno lite i klejone warstwowo, LVL, sklejka oraz płyty OSB (w zakresie konstrukcyjnym), ponadto płyty wiórowe, pilśniowe (w zakresie wypełnień o charakterze termoizolacyjnym) (tab. 2).

3. Budownictwo z drewna przetworzonego





Dzięki tak rozwiniętym tworzywom drzewnym i szerokiej gamie łączników, konstrukcje drewniane osiągają dziś imponujące rozpiętości przy smukłym wyglądzie (przekraczając nawet rozpiętości 100 m). Dominujący sortyment podstawowych konstrukcji z drewna i materiałów drewnopochodnych reprezentowany jest przez elementy prętowe lite i skratowane, o przekroju pełnym (prostokątnym, kołowym) lub złożonym (np. dwuteowe, skrzynkowe). Jednak nie brakuje dziś i rozwiązań płytowych czy też wyszukanych form przekroju poprzecznego (np. technologia elementów *Kielsteg* [5]). Kilka wybranych przykładów rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych współczesnego rynku przemysłu drzewnego zestawiono w tabeli (tab. 3).

Wysoko przetworzone tworzywa drzewne dają również punkt wyjścia do zróżnicowanych rozwiązań konstrukcyjnych pod względem ich formy. Przykładowe rozwiązania połączeń tworzyw drzewnych w ustroju budowlanym pokazane zostały w tab. 4. Warto tu zwrócić uwagę, że wiele nowoczesnych rozwiązań powstaje na drodze wykorzystywania specyficznych właściwości poszczególnych tworzyw drzewnych.

4. Wnioski

Jak widać nieograniczony zakres technologii i form kształtuje szerokie spektrum dla architekta, konstruktora i użytkownika. Drewno nadal odbierane jest jako przyjazny otoczeniu materiał budowlany. Warto lansować drewno i tworzywa drzewne jako ekologiczne materiały budowlane, pamiętając o ochronie naturalnego środowiska we wszystkich działaniach, sięgając po coraz nowsze osiągnięcia techniki, dostosowując je do potrzeb i możliwości. Warto tu wykorzystać dobre wzorce ogólnodostępnych portali internetowych Austrii [4], Niemiec czy Szwajcarii, dostarczających obszerną wiedzę w zakresie technologii i rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych, dzięki którym popularyzowana jest ta obszerna dziś wiedza. System tej dziedziny studiów nie kształtuje zbyt przyjaznego gruntu w tym zakresie, tak dla architektów, jak i konstruktorów. Ostatnie lata wprawdzie wprowadziły ten zakres wiedzy do obowiązkowego programu studiów, jednak w bardzo skromnym zakresie. Dlatego warto popularyzować ten surowiec i jego przetworzone pochodne wśród inwestorów, których świadomość na szczęście też już znacznie wzrosła.

Konstrukcyjne zastosowanie drewna i tworzyw drzewnych (wybrane przykłady)

PRZYKŁAD	TWORZYWO I JEGO MOŻLIWE FORMY W PRZYKŁADOWYCH ROZWIĄZANIACH I ICH PARAMETRY TECHNICZNE
 <p data-bbox="437 808 555 835">drewno lite</p>	<p data-bbox="699 535 1279 875">Podstawowe klasy wytrzymałościowe <i>drewna litego</i> podlegają dziś normie EN 338, oznaczenia gatunków drzew iglastych, np. C24, gatunków liściastych, np. D35. Tworzymy z nich proste konstrukcje ciesielskie lub wykorzystujemy jako produkt wyjściowy dla drewna klejonego warstwowo z desek (oznaczenie np. GL30). Powstają z nich głównie ustroje belkowe typu belki stropowe lub elementy więźb; zazwyczaj są ograniczone wymiarami tarcicy do ok. 6,6 [m]; wytrzymałość charakterystyczna na zginanie $f_{m,k}$ dla klas normowych wg EN 338 sięga 50 MPa (C14 – C50), jednak rynek polski oferuje klasy znacznie niższe typu C24 – C30.</p>
 <p data-bbox="357 1090 635 1117">drewno lite modyfikowane</p>	<p data-bbox="699 898 1279 1155">W wyniku obróbki termicznej lub chemicznej drewna litego powstają elementy o podwyższonych właściwościach, m.in. na korozję biologiczną. Znajduje głównie zastosowanie na elementy wykończeniowe i stolarkę, jednak powstają z niego również rozwiązania w zakresie konstrukcyjnym. Jedną z nowszych realizacji to most drogowy na drodze A7 w Holandii w okolicy miasta Sneek; wykonany z drewna Accoya-Wood, długość mostu – 32 [m], wysokość – 16 [m]; nośność 60 ton.</p>
 <p data-bbox="357 1429 635 1512">drewno klejone warstwowo z desek, o spoinach poziomych</p>	<p data-bbox="699 1178 1279 1462">Zgodnie z normą EN 1194 produkowane jest w dwóch odmianach: jako <i>jednorodne</i> (np. GL24h) i <i>kombinowane</i> (np. GL24c). Powstają z nich ustroje belkowe typu rygle ram, dźwigary mostów, łukowe elementy kopuł, elementy ustrojów przestrzennych. Oferowane wytrzymałości charakterystyczne na zginanie $f_{m,k}$ 24-36 MPa; różnią się w zależności od producenta; np. Konsbud oferuje klasy GL24c, GL28c i GL32c. Długość elementu max 55 [m], szerokość elementu do 26 [cm], wysokość elementu max 224 [m], minimalny promień gięcia 2,5 [m], zalecany 7 [m].</p>
 <p data-bbox="357 1711 635 1794">drewno klejone warstwowo z desek, o spoinach pionowych</p>	<p data-bbox="699 1529 1279 1731">Rozwiązania <i>belkowe</i> (belki duo i trio) oraz konstrukcje <i> płytowe</i>. Rozwiązania belkowe mają główne zastosowanie w budownictwie małokubaturowym. Rozwiązania płytowe można spotkać w mostownictwie, np. na pomosty mostowe. W zależności od producenta wyjściowa klasa drewna C24, długość do 17,0 [m], szerokość do 2,50 [m], grubość 80-120 [mm],</p>



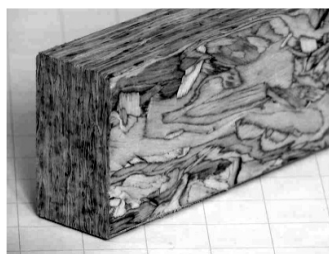
CLT (*Cross Laminated Timber*) -
drewno laminowane krzyżowo;

Podstawą kompozytu są deski zazwyczaj z zewnętrznej strefy kłody, układane na przemian włóknami (analogia do sklejki). Zakres zastosowania to *plytowe* prefabrykаты ścienne i stropowe budownictwa małokubaturowego. W zależności od producenta można spotkać różne parametry techniczne; np. Kaufmann używa deski o grubości 10-45 [mm], szerokości 80-240 [mm], zalecane proporcje gr:sz ok. 1:4, klasa drewna C24, nośność płyty stropowej do 10 kN/m², długość do 16,50 [m], szerokość do 3,00 [m], grubość 78-278 [mm], REI 60 i 90, współczynnik U przegród może osiągać 0,19 [W/m²K].



elementy fornirowe

Grupa tych wyrobów obejmuje sklejkę (EN 636) i elementy LVL (*laminated veneer lumber*) – EN 14374 i EN 14279. O właściwościach ostatecznego produktu i jego funkcji decyduje układ poszczególnych warstw fornirow. Nośność elementu zależna jest od ułożenia tej płyty; np. dla sklejki 9-warstwowej $f_{m,90,k} = 61$ MPa dla układu pracującego wzdłuż włókien, a dla układu pracującego w poprzek $f_{m,90,k} = 18$ MPa, LVL można spotkać w układach *belkowych* i *plytowych*, przykładem rynkowym są płyty KERTO – **Kerto** – **Q** fornirow układany jest w kierunku podłużnym i poprzecznym w stosunku do podłużnej osi płyty, **Kerto** – **S** fornirow układany jest wyłącznie wzdłuż.



wyroby oparte o wióry

Elementy belkowe (LSL – *laminated strand lumber* i PSL *parallel strand lumber* – *Parallam*) oraz panele (płyty OSB – *oriented strand board* EN 300 i płyty wafłowe) o układach włókien orientowanych na różne sposoby. Belki LSL i PSL rzadko występują na polskich budowach, jednak ich właściwości dzięki uporządkowanej strukturze przewyższają belki z drewna klejonego, np. Parallam PSL $f_{mk} = 41,9$ [MPa]. Płyty OSB znajdują zastosowanie na różnego rodzaju poszycia budownictwa szkieletowego; właściwości dla płyty OSB/4 o grubości 6-10 [mm] osiągną następujące parametry: $f_{m,90,k} = 24,5$ MPa, $f_{m,k} = 13$ MPa.

Wybrane ustroje budowlane w zakresie złożonych tworzyw drzewnych

WYBRANE USTROJE W ZAKRESIE RÓŻNYCH TWORZYW DRZEWNYCH											
	<p>drewno lite i klejone – ma szerokie zastosowanie w ustrojach złożonych na elementy stropowe i przekrycia niewielkich rozpiętości, m.in. dwuteowe belki z pasami i środnikami przyjmują różnorodne rozwiązania, a co za tym idzie i rozpiętości,</p> <p>belki dwuteowe – belki stropowe i krokwie – podstawowe rozpiętość do 8,0 [m],</p> <p>elementy skrzynkowe – mają głównie zastosowanie na prefabrykowane elementy stropowe i dachowe; osiągnięta długość elementu max 12,0 [m]; odporność ogniowa do REI 90, wysokość elementu 80-320 [m]; szerokość elementu 51,4 i 100 [cm],</p> <p>kratownice – w zależności od schematu i łączników w prostych konstrukcjach do 30 [m]</p>										
	<p>połączenie różnych tworzyw drzewnych w przekrojach złożonych – ciekawym przykładem jest element <i>Kielsteg</i> [5]; połączenie sklejki i drewna litego w przestrzennej formie; rozpiętość do 30 [m], wysokość elementu 615 i 785 [mm], nośność do 8 [kN/m²], izolacyjność akustyczna ok. 47 [dB], odporność ogniowa REI 30 – REI60</p>										
	<p>tworzywa klejone (GL, LVL, PSL itp.) łączone za pomocą łączników mechanicznych tworzą przekrycia strukturalne o różnorodnej formie przestrzennej, przykładowe rozwiązania i rozpiętości</p> <table data-bbox="703 1335 1206 1480"> <tbody> <tr> <td>belki proste</td> <td>15-30 [m]</td> </tr> <tr> <td>kratownice proste</td> <td>15-30 [m]</td> </tr> <tr> <td>ramy</td> <td>12-60 [m]</td> </tr> <tr> <td>łuki trójprzegubowe</td> <td>25-90 [m]</td> </tr> <tr> <td>kopuły</td> <td>do 180 [m]</td> </tr> </tbody> </table>	belki proste	15-30 [m]	kratownice proste	15-30 [m]	ramy	12-60 [m]	łuki trójprzegubowe	25-90 [m]	kopuły	do 180 [m]
belki proste	15-30 [m]										
kratownice proste	15-30 [m]										
ramy	12-60 [m]										
łuki trójprzegubowe	25-90 [m]										
kopuły	do 180 [m]										

Literatura

- [1] Ratajczak E., *Innowacyjność sektora drzewnego w Polsce*, praca zbiorowa w ramach programu Foresight w drzewnictwie, Innowacyjna Gospodarka, Poznań 2009.
- [2] Frühwald A., Scharal-Rad M., *Ökobilanzen Holz. Fakten lesen, verstehen und Handeln. Informationsdienst Holz*, DGfH 12.1999.
- [3] *Timber Structures – Handbook 1*, praca zbiorowa, 2008 (http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook1_final.pdf).

- [4] *Katalog danych technicznych (ekologicznych i fizycznych) dla tworzyw i przegród budowlanych z drewna*, praca zbiorowa (www.dataholz.com – Holzforschung Austria; aktualna na dzień 5.05.2011).
- [5] Kielsteg (www.kielsteg.com).
- [6] HVS-Holzverbindersysteme mit bauaufsichtlicher Zulassung (www.holzverbindersysteme.ch).