

# Budownictwo na bazie drewna

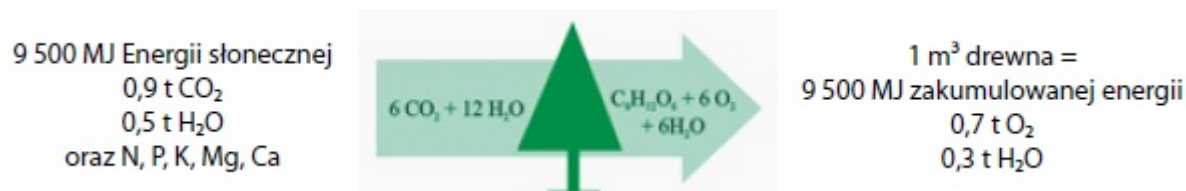
Drzewo, będące elementem składowym zielonych płuc ziemi, po ścięciu i niewielkiej obróbce może szybko stać się prostym materiałem budowlanym najmniej obciążającym środowisko swą technologią przetwórstwa.

## Drewno - ekologiczny i niskoenergetyczny materiał budowlany

Fazy obiegu materiału	Drewno	Stal	Żelbet
Wytworzenie	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

Tablica 1.

Wydatkowana energia [kWh] na wytworzenie, eksploatację i rozbiórkę hali o kubaturze 1000 m<sup>3</sup> o konstrukcji drewnianej, stalowej i żelbetowej

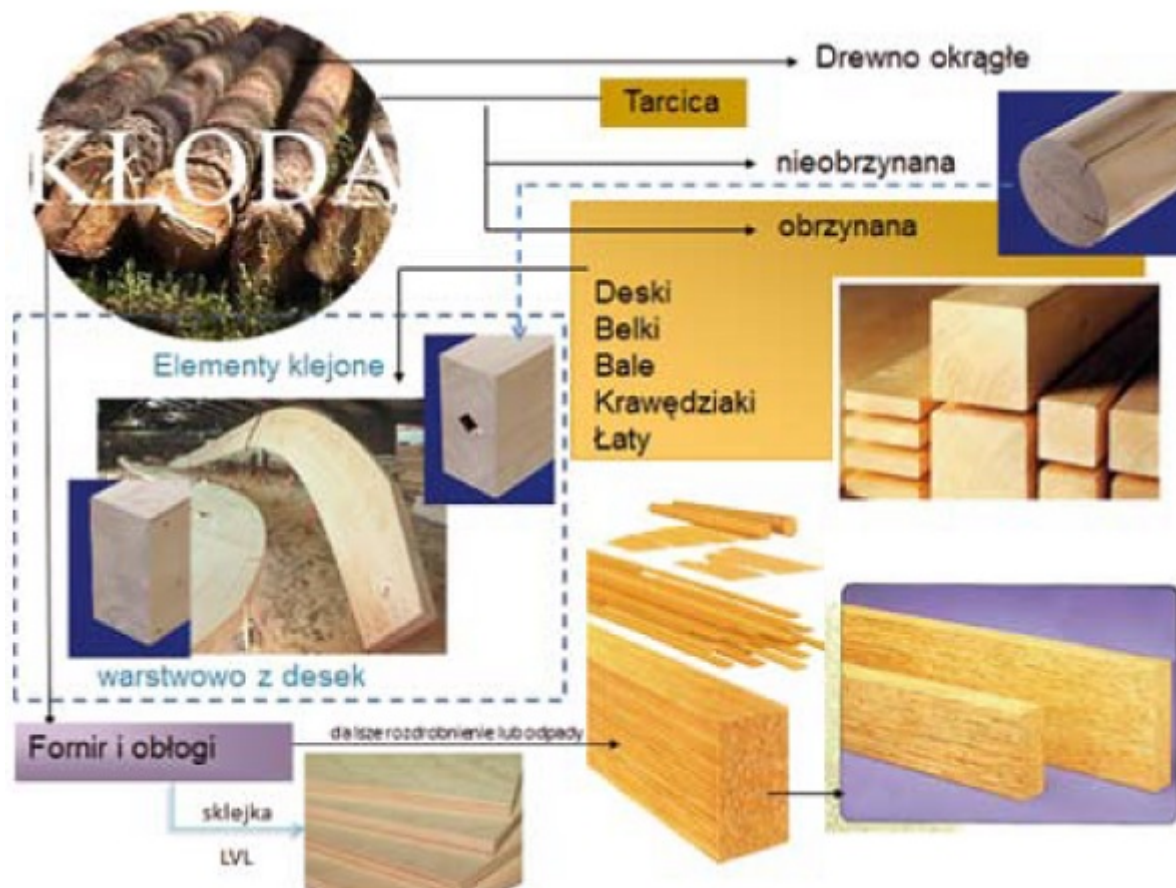


Rys. 1. Bilans procesów chemicznych jednego drzewa [1]

Drewno to surowiec–produkt mający wiele wad takich jak: palność, odkształcalność (deformacje wynikające ze skurczu i pęcznienia materiału), niekontrolowane pęknięcia. Skoro drewno ma tyle wad, to czemu tak chętnie wybiera się jego wyroby w zakresie budownictwa? Pierwszym powodem jest na pewno moda na ekologię i promowanie filozofii „Cradle to Cradle®” (wszelkie dobra i odpady – zużyte produkty i ich składniki – to surowce, które są w całości przetwarzane i służą produkcji kolejnych wyrobów). Ponadto materiał ten po „zużyciu” może zostać spalony, ulec biodegradacji np. w wyniku działania technicznych szkodników drewna lub bakterii, a po każdym z tych procesów powraca do ekosystemu w postaci CO<sub>2</sub>. Natura zadbała tu o swoistą równowagę – drewno podczas rozkładu wyprodukuje tyle CO<sub>2</sub> ile nagromadziło w trakcie swojego życia. Warto wiedzieć, że 1 m<sup>3</sup> drewna to blisko tona przetworzonego CO<sub>2</sub>. W tym kontekście należy zwrócić uwagę na statystyki dotyczące zalesiania na terenie Polski (tab. 2 [2]). Wynika z nich, że powierzchnia lasów na terenie Polski systematycznie rośnie wraz z pozyskiwaniem drewna w wartościach bezwzględnych (jak i w przeliczeniu na jednego mieszkańca).

Rok	2000	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Zasoby powierzchniowe lasów – powierzchnie gruntów leśnych											
Ogółem w tys. ha	9059,5	9170,9	9200,4	9229,3	9254,6	9272,6	9295,6	9328,9	9350,7	9370,0	9383,0
Udział w powierzchni lądowej kraju [%]	29,8	29,9	30,0	30,1	30,2	30,3	30,4	30,5	30,5	30,6	30,6
Pozyskanie drewna											
Ogółem w tys. m <sup>3</sup>	27659	32733	31945	32384	35935	34273	34629	35467	37180	37045	37946
Na 1 mieszkańca [m <sup>3</sup> ]	0,68	0,80	0,78	0,79	0,90	0,85	0,86	0,87	0,90	0,91	0,93

Tablica 2. Zasoby powierzchniowe lasów polskich w statystyce [2]



Rys. 2. Przykładowe formy przetworzonego drewna

### Drewno i wyroby budowlane na bazie drewna

Podczas pierwszej obróbki kłody drewna otrzymujemy proste elementy budowlane w postaci tarcicy (rys. 2).

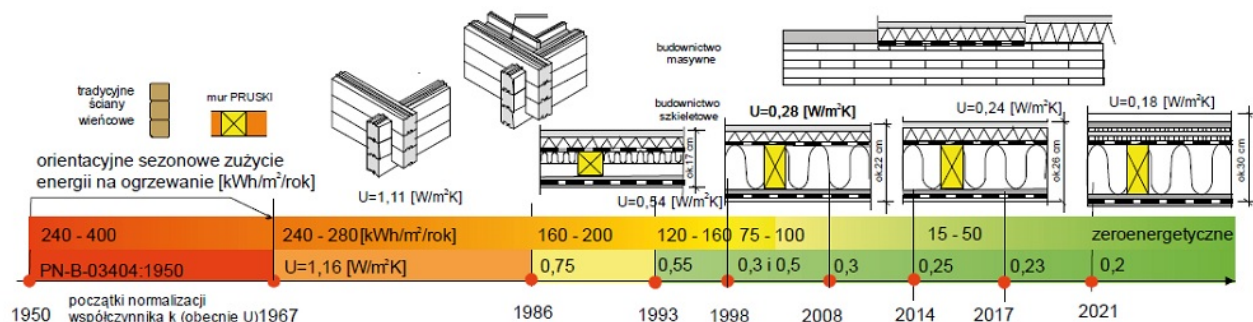
Może ona być nieobrzynana (przetarcie tylko czoł i dwóch płaszczyzn bocznych) lub obrzynana (przetarcie wszystkich czterech płaszczyzn bocznych). Bardziej złożone procesy technologiczne, polegające na klejeniu, prasowaniu bądź mechanicznym scalaniu coraz bardziej rozdrobnionych struktur drewna, prowadzą do powstawania bardzo zróżnicowanych produktów. Do najbardziej rozpowszechnionej grupy produktów klejonych należy drewno klejone warstwowo z desek o spoinach poziomych (GL - glulam), tworzące głównie rozwiązania belkowe. Jest ona dziś rozbudowywana o produkty klejone w formie płyt lub tarcz. Reprezentantem tego kierunku rozwiązań może być technologia CLT (Cross Laminated Timber) co oznacza drewno klejone warstwowo poprzecznie (krzyżowo).

Odrębną ścieżką tworzenia wyrobów budowlanych na bazie drewna jest pozyskiwanie fornirów i obłogów, które tworzą materiał wyjściowy dla sklejki oraz elementów LVL (Laminated Veneer Lumber), chociaż nie są to jedyne produkty w tej grupie. Pozyskiwaniu materiałów tartych (belki, bale, krawędziaki) oraz fornirów towarzyszy sporo odpadów. Dalsze rozdrabnianie do poziomu wiórów daje surowiec drzewny potrzebny do powstania płyt OSB (Oriented Strand Board) czy belek na bazie PSL. Dla tych produktów tak drobne struktury drewna mogą być pozyskiwane również z drzew o niewielkich gabarytach. Ostatni etap rozdrobnienia to wełna i włókna drzewne stanowiące bazę np. dla płyt MDF oraz szeregu izolacyjnych płyt włóknistych. Całość manipulacji przy strukturze drewna (modyfikacja termiczna lub chemiczna), prowadzi do powstania produktów o podwyższonej odporności np. na korozję biologiczną. Technolodzy w pracy z surowcem (drewnem) sięgają jeszcze „głębiej”, mianowicie do poziomu komórki i wykorzystania nanotechnologii.

### Budownictwo drewniane - podstawowe ustroje budowlane

Na rozwój budownictwa drewnianego można popatrzeć m.in. z punktu widzenia poszczególnych ustrojów budowlanych, takich jak: ściana, strop i dach (przekrycie), jak również pod kątem inżynierskich ambicji, czyli jak zbudować wyższe obiekty i przekrywać większe rozpiętości. W kontekście przegród budowlanych

istotnymi parametrami są lekkość i izolacyjność (cieplna, wilgotnościowa czy akustyczna), a w kontekście pokonywanych odległości – nośność i sztywność konstrukcji.



Rys. 3. Historyczny rozwój przegród z udziałem drewna (przykłady) wraz ze wzrostem wymagań dla współczynnika U

### Ściany

Początkowo brak wyspecjalizowanych narzędzi ograniczał rozwiązania ścian do prostych form szkieletowych oraz masywnych ścian wieńcowych, których izolacyjność termiczna w porównaniu do dzisiejszych standardów była niewielka (rys. 3). Wraz z rozwojem technik obróbki drewna (CNC – computer numerical control) oraz dzięki dużej i różnorodnej grupie materiałów termoizolacyjnych ściany drewniane stały się szczelniejsze i „cieplejsze”. Współczesne technologie stworzyły szansę zminimalizowania współczynnika przenikania ciepła przez przegrodę nawet do wartości poniżej 0,2 W/(m²K), co wybiega z wymogami do roku 2021.

Obie technologie tworzenia ścian (szkieletowa i masywna) wpisują się dobrze w trendy rozwoju budownictwa systemowego, tworząc szereg zunifikowanych rozwiązań dla ścian, stropów i dachów.



Rys. 4.

Przykładowe złożone belki stropowe na bazie drewna

### Stropy

Podobnie jak ściany, również elementy stropowe ulegają przeobrażeniom. Oprócz litych przekrojów prostokątnych obecnie tworzone są różnorodne rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne w formie belkowej i płytowej. Dążenie do lekkości konstrukcji oraz oszczędności drewna litego sprawia, że wśród belkowych rozwiązań dominują przekroje złożone (dwuteowe belki pełnościenne i skratowane). Do popularnych rozwiązań należą tu belki:

- ze średnikiem pełnościennym – na bazie płyt OSB lub stalowych blach profilowanych
- ze średnikiem skratowanym – drewnianym lub stalowym (tworzone przy użyciu płytek kolczastych i profili zakończonych płytkami kolczastymi) (rys. 4).

Wysokość takich belek jest zależna od oczekiwanej nośności oraz rozpiętości i waha się od dwudziestu do czterdziestu kilku cm. Rozpiętość zaś osiąga ok. 9 m. Oprócz przeznaczenia na elementy stropowe mogą



też znaleźć zastosowanie na elementy krokwi.

Wśród płytowych (pełnych i skrzynkowych) rozwiązań stropowych występują skrzynkowe i lite na bazie drewna klejonego krzyżowo (np. CLT). Wśród tych rozwiązań stropy mogą osiągać rozpiętość do 30 m, nośność do 8-10 kN/m<sup>2</sup>. Również odporność ogniowa może być imponująca, ponieważ sięgać poziomu REI 30 lub REI 60.



Rys. 5. Wybrane

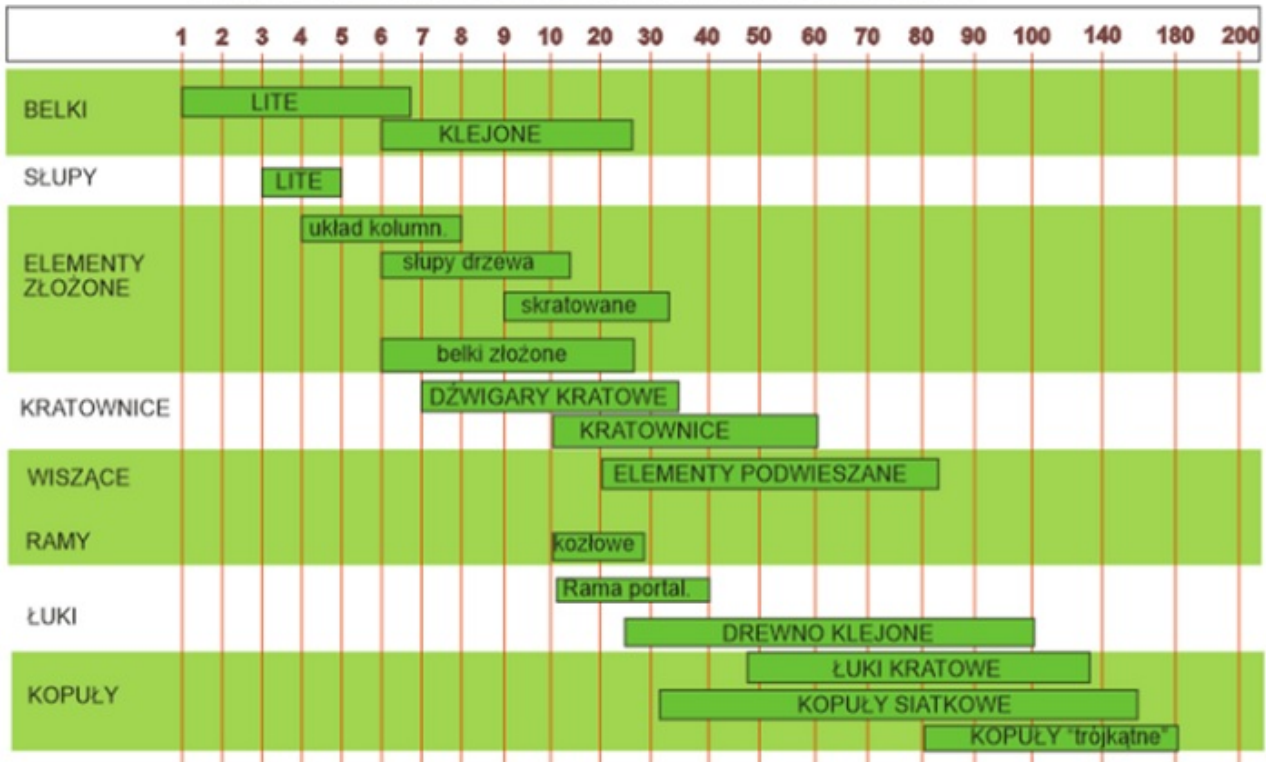
płytowe systemy stropowe

#### Dachy/przekrycia

Patrząc na dynamiczny rozwój stropów nie trudno sobie wyobrazić jak nowoczesne są dziś formy dachów.

Wprawdzie nadal stosuje się klasyczne więźby dachowe z elementów prętowych, jednak dzięki nowoczesnym łącznikom i złączom przy zastosowaniu dźwigarów złożonych konstrukcje więźb osiągają kilkanaście do kilkudziesięciu metrów. Formy przekryć hal sportowych i przemysłowych opierają się głównie na elementach z drewna klejonego GL. Jednak rozpiętości tu osiągnęte to raptem dwadzieścia kilka metrów (czasem do 30 m). Rozwiązania kratowe wspomagane formą łuku osiągają już znacznie większe rozpiętości, bo niejednokrotnie sięgające 100 m. Kopuły siatkowe i strukturalne zbudowane na bazie trójkąta osiągają nawet 180 m i są największymi konstrukcjami drewnianymi co do rozpiętości. Przykładowe zakresy stosowanych rozpiętości przedstawia zestawienie na rys. 6.

ORIENTACYJNE ZAKRESY ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH Z DREWNA



Rys. 6. Orientacyjne zakresy rozwiązań konstrukcyjnych z drewna (rozpiętość, wysokość) [4]

Większość tych rozwiązań bazuje na dźwigarach z drewna klejonego (na bazie GL). Rozwiązania te swymi gabarytami tworzą wrażenie bardzo smukłych i lekkich. Proporcje dźwigarów nie powinny przekraczać 1:10.

Większość producentów proponuje przekroje wynikające z zaplecza technicznego jakim dysponują (szerokość 18-26 cm, wysokość do ok. 224 cm, rozpiętość do 55 m). Naturalnie rozmiary te korygują możliwości logistyczne i wytrzymałościowe zrealizowanej konstrukcji.

Elementy klejone na bazie drewna mają też różnorodną formę. Można je wyginać w łuk o promieniu nawet 2,5 m (zalecane wygięcia to ok. 7 m). Pozwala to na tworzenie przekryć w formie kopuł i beczek, formy te są ciekawe i coraz szerzej używane.

## WYBRANE SYSTEMY BUDOWNICTWA



Fot.



6. Przykładowe systemy na bazie drewna

### **Budownictwo systemowe**

Konstruowanie modułowych, stypizowanych rozwiązań dla budownictwa niskokubaturowego stworzyło w Europie budownictwo systemowe, zawierające nie tylko myśl techniczną dotyczącą rozwiązań konstrukcyjnych dla stropów i ścian, ale kształtujące też te elementy pod względem wymogów fizyki budowli (zagadnienia ciepłno-wilgotnościowe i akustyczne).

Rozwiązania obejmujące stypizowane hale handlowe mogą być skonstruowane na bazie dźwigarów skratowanych np. na płytki kolczaste. Rozpiętość jest tu ograniczona do dwudziestu kilku metrów.





Fot. 7. Przekrycie

Kościół św. Faustyny w Krakowie (źródło autora)

W Europie pod względem liczby rozwiązań systemowych, przodują kraje regionów alpejskich, realizując je w dwóch grupach pod względem budowy dominujących ustrojów konstrukcyjnych. Jedną to rozwiązania szkieletowe (SBD - Szkieletowe Budownictwo Drewniane), druga to przegrody masywne (MBD - Masywne Budownictwo Drewniane). Kilka przykładów rozwiązań systemowych na rynku europejskim reprezentuje fot. 6.



Fot. 8. Formy

prostych prefabrykacji (dźwigar kratowy na płytki kolczaste) (źródło autora)



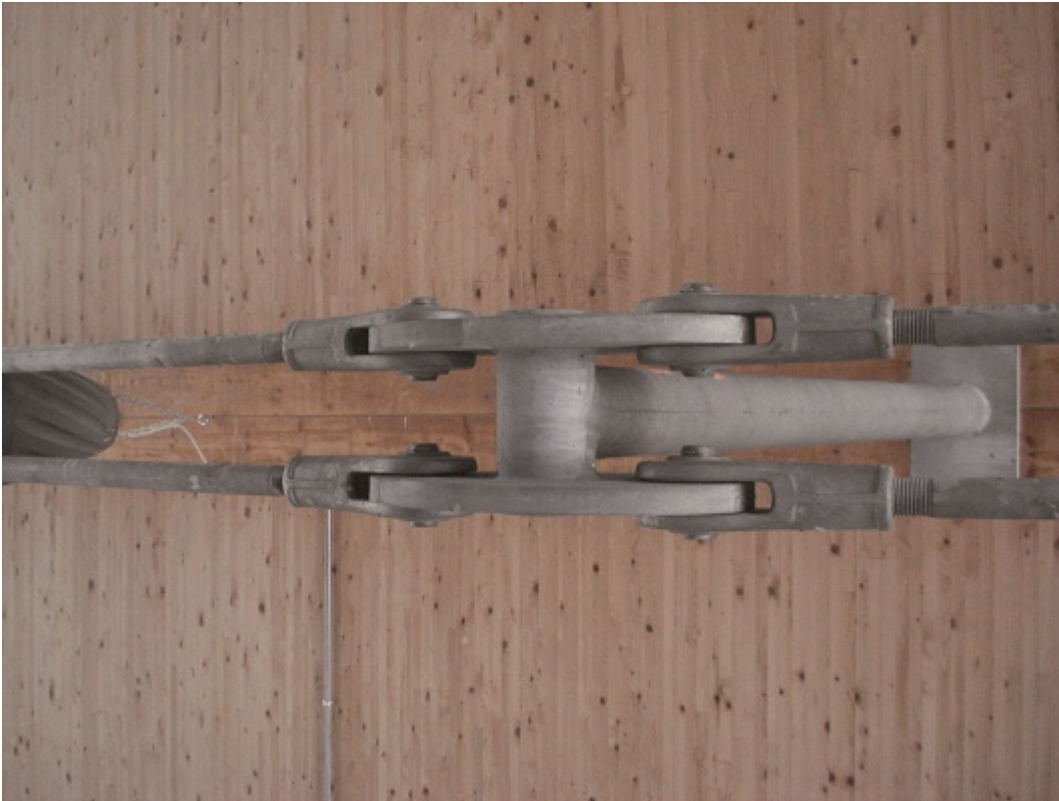
Fot. 9. Węzeł podporowy z łącznikami sworzniowymi (przekrycie basenu AGH w Krakowie) (źródło autora)

### **Łączniki, złącza i połączenia w konstrukcjach drewnianych**

Współczesne formy architektoniczne i rozwiązania konstrukcyjne nie byłyby możliwe bez nowoczesnych łączników i złączy. W wielu przypadkach dzisiejsze połączenie (węzeł) kształtowany jest na bazie klejów lub z udziałem okuć stalowych (blach węzłowych) projektowanych i wykonywanych indywidualnie lub seryjnie. Ta różnorodność łączników i złączy pozwala dzisiaj projektować i realizować ciekawe formy architektoniczne przy dużych nośnościach węzłów, a co za tym idzie pozwalających na konstruowanie znacznych rozpiętości przekraczających 100 m.

Dzięki łącznikom drewno bardzo dobrze współpracuje z innymi materiałami budowlanymi m.in. ze szkłem i betonem, co daje ciekawe formy architektoniczne.





Fot. 10. Stalowe

elementy „wspomagające” konstrukcje drewniane (przekrycie stacji kolejki linowej Kronplatz - Włochy)  
(źródło autora)

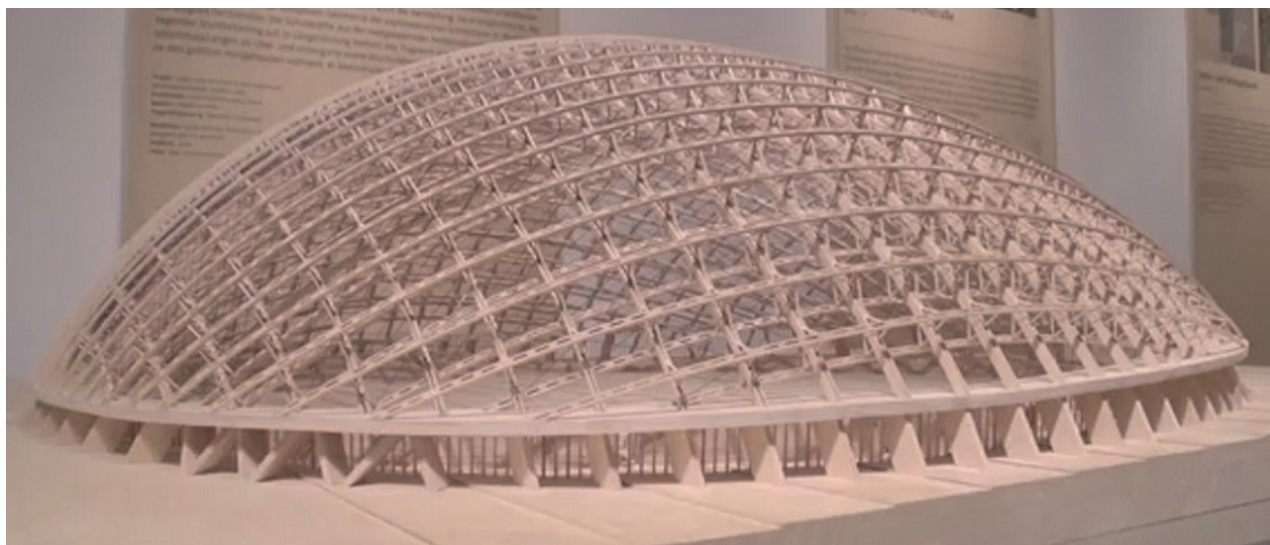


Fot. 11. Przekrycie w łuku nad stacją kolejki górskiej (Pejo - Włochy) (źródło autora)

### **Przykłady nowoczesnych rozwiązań**

Jeśli chodzi o przeznaczenie drewna w nowoczesnej budowl, dominują rozwiązania kubaturowe (budynki

mieszkalne, biurowe, sakralne, hale widowiskowo-sportowe lub przemysłowe). Wśród pozostałych reprezentantami są: kładki dla ruchu pieszego lub rowerowego (rzadziej mosty drogowe), maszty specjalnego przeznaczenia, wieże widokowe czy konstrukcje wsporcze. Od wybudowania Odate Jukai Dome Park (hala wielofunkcyjna o rozpiętości 157 m) minie w 2017 roku 20 lat i nadal zadziwia w niej fantazja architektów i kunszt konstruktorów.



Fot. 12. Odate Jukai Dome Park: model konstrukcji znajdujący się na wystawie „Bauen mit Holz – Wege in die Zukunft” TU Monachium (lata 2012-2013)

Oprócz budynków powstają też nietypowe rozwiązania jak ekrany akustyczne, wieże i platformy widokowe czy też słupy oświetleniowe.



Fot. 13. Wieża widokowa

(Lozanna - Szwajcaria) i słup oświetleniowy trasy narciarskiej (Santa Caterina – Włochy) (źródło autora)





Fot. 14. Drewniana kładka na trasie narciarskiej (Pejo - Włochy) (źródło autora)

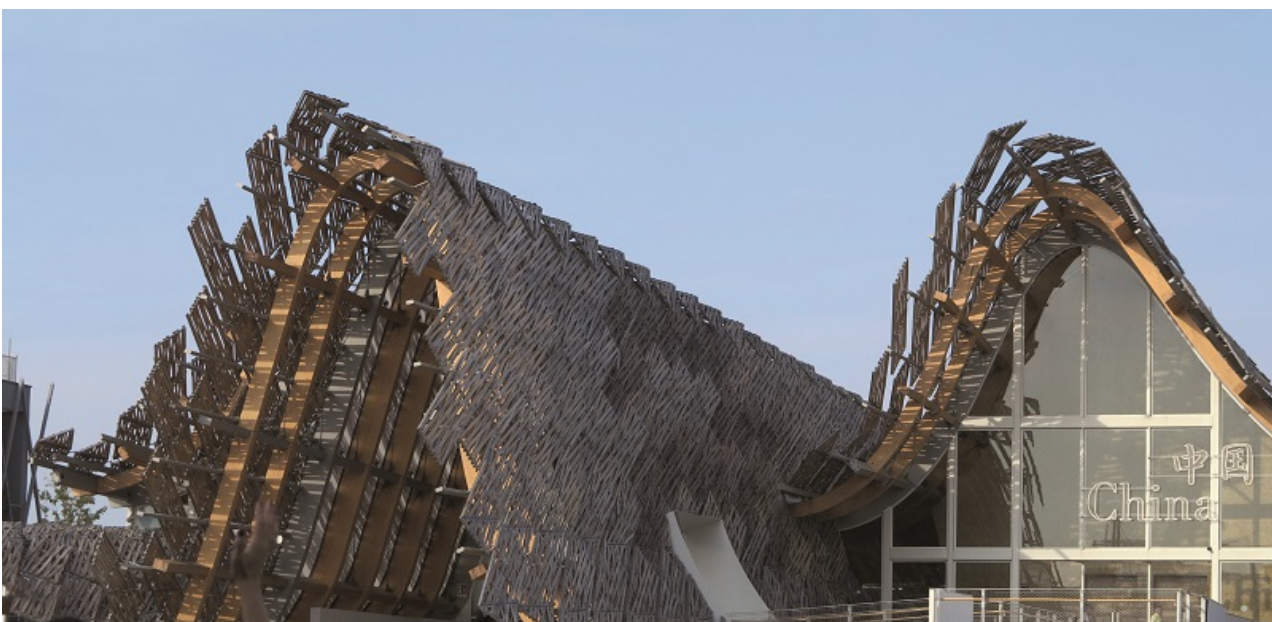
### EXPO 2015

Na koniec warto zwrócić uwagę na targi EXPO w Mediolanie (01.05-31.10.2015 r.). Stały się one miejscem ekspozycji ciekawych form architektonicznych wykonanych z drewna lub drewnem wykończonych np. na bazie bambusa. Szacuje się, że 80% materiałów budowlanych wykorzystanych na tegorocznym EXPO to drewno.

Całość ekspozycji otwiera Pawilon ZERO ze swym mottem „Divinus halitus terrae” (Boskie tchnienie ziemi).

Pawilon Zero w swym zamyśle odwzorowuje fragmenty skorupy ziemskiej. Jednak nie widać tu imponujących form i konstrukcji drewnianych.

Pawilon Polski obudowany skrzynkami na jabłka jest wprawdzie okazały, ale nie jest to konstrukcja drewniana. Natomiast pod względem konstrukcyjnym i architektonicznym imponują Pawilony Francuski oraz Chiński.





Fot. 15. Pawilon Chiński (źródło autora)

Pawilon Francuski to odwrócony górzysty teren Francji. W zamyśle architekta imponujące słupy to szczyty gór (konstrukcja postawiona jest więc na wierzchołkach tych gór, czyli na głowie).

Pawilon Chiński natomiast to połączenie drewna i bambusa.



Fot. 16.

Pawilon Francuski (źródło autora)

### Literatura

1. Kram D., *Drewno naturalnym surowcem współczesnego budownictwa*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Czasopismo Techniczne z.11 Architektura 2-A1/2011 (str. 123-131).
2. *Leśnictwo 2014*, Informacje i opracowania statystyczne - Główny Urząd Statystyczny, ISSN 1230-574X.
3. Frühwald A., Scharal-Rad M., *Ökobilanzen Holz: Fakten lesen, verstehen und Handeln*, Informationsdienst Holz, 12.1999, ISSN 0466-2114.
4. *Wide-Span Wood Sport Structures, Versatility with wood*, Wydawnictwo TRADA i Wood For God, 2006.

dr inż. Dorota Kram  
Politechnika Krakowska



Fot.

17. EXPO 2015 - Pawilon ZERO (źródło autora)