

# Prefabrykowane drewniane moduły WCH do wznoszenia i remontów obiektów budowlanych

dr inż. Janusz Brol, Politechnika Śląska w Gliwicach, Wood Core House Jaworzno,  
mgr inż. Rafał Hadera, Wood Core House Jaworzno

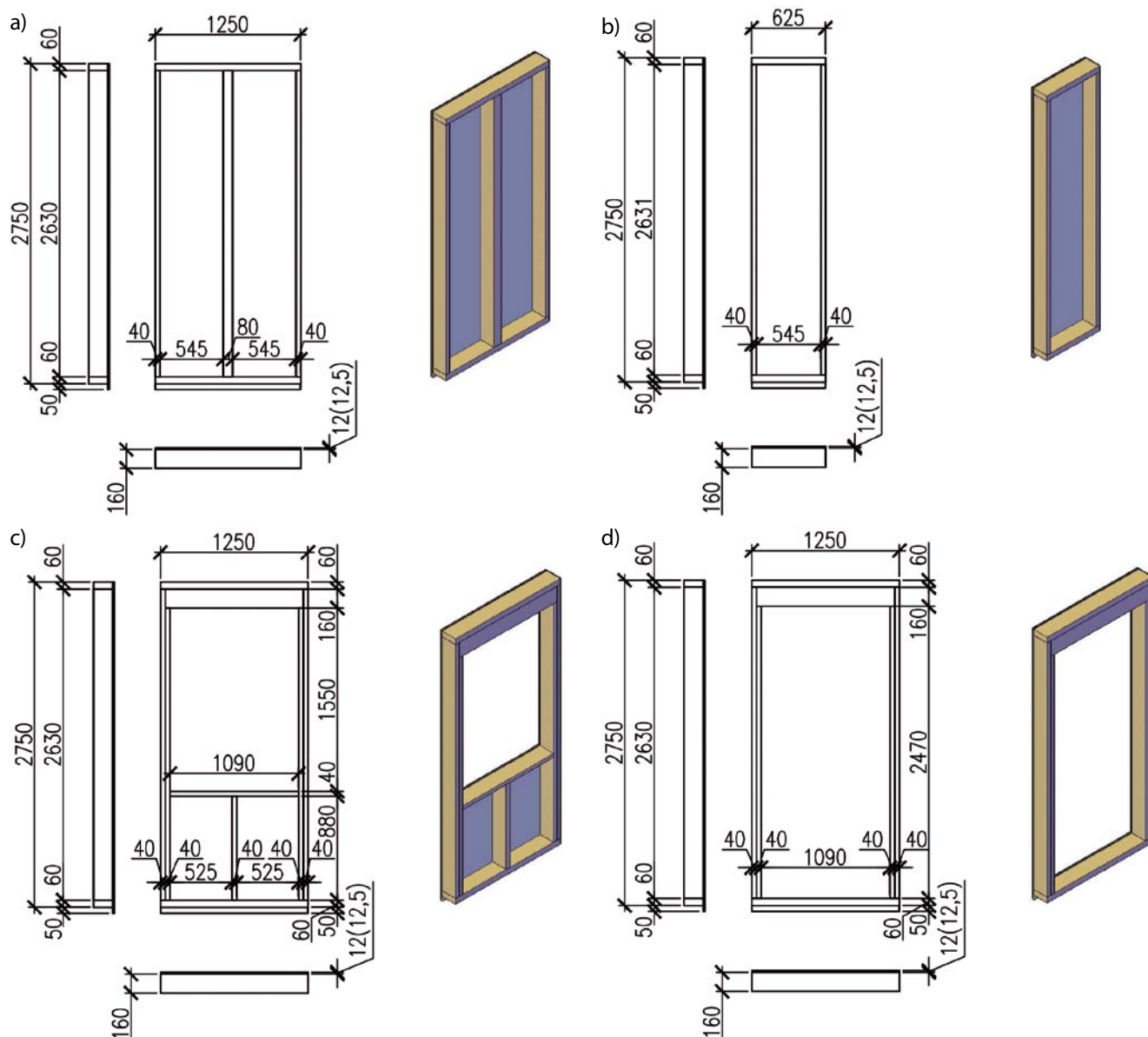
## 1. Wprowadzenie

Budownictwo drewniane zawsze było wpisane w krajobraz Polski. Od wieków wznoszono budynki z wykorzystaniem drewna jako elementu konstrukcyjnego, ze względu na łatwość obróbki oraz dobre właściwości termiczne. Wznoszono domy z bala, w technologii ryglowej, szkieletowej oraz innych, a dziś niektóre z nich są już rzadko stosowane. Technologią, która jest aktualnie najbardziej popularna na rynku budownictwa drewnianego, jest technologia lekkiego szkieletu drewnianego, która obecnie przeżywa w kraju swój kolejny renesans. Jest to spowodowane sprzyjającym zbiegiem okoliczności, które przyczyniają się do popularyzacji tej technologii. Obecnie istnieje moda na wykorzystywanie we wznoszeniu budynków oraz w ich remontach lub modernizacjach materiałów pochodzenia naturalnego, wykonanych w dużym udziale z surowca odnawialnego (jakim jest drewno), łatwo nadającym się do poddania recyklingowi oraz przyczyniającym się do ograniczenia tak zwanego „ślądu węglowego”. Wykorzystanie drewna w konstrukcji budynków stanowi niskie obciążenie dla środowiska naturalnego, zarówno w trakcie realizacji budowy, jak i późniejszej eksploatacji. Jednak ze względu na różne czynniki występujące w Polsce w latach powojennych XX wieku zastosowanie drewna w budownictwie zostało zdecydowanie ograniczone, a drewno jako materiał budowlany został „sprowadzony” do roli materiału pomocniczego wykorzystywanego do konstrukcji drugorzędnych i wykończeniowych. Trend ten spowodował wygaszenie drewnianego budownictwa mieszkalnego, a w konsekwencji zaprzestanie szkolenia kadr potrafiących wykonywać drewniane konstrukcje budynków. Obecnie budownictwo drewniane w Polsce przeżywa swój kolejny renesans i cieszy się coraz większą popularnością, zwłaszcza w budownictwie mieszkaniowym, jednak brak dobrze wyszkolonych fachowców umiejących prawidłowo wykonywać mieszkalne budynki drewniane skutecznie utrudnia rozwój tej technologii. Wobec niedoboru wykwalifikowanego personelu (fachowców) powstała potrzeba opracowywania nowych systemów technologii wykonywania budynków w szkieletowej konstrukcji drewnianej o stosunkowo prostych rozwiązaniach, a równocześnie trwałych i powtarzalnych. Takim systemem jest

autorskie rozwiązanie zaproponowane w niniejszym artykule. Technologia ta bazuje na zmodyfikowanej technologii budowy domów prefabrykowanych, o drewnianej konstrukcji szkieletowej, umożliwiającej montaż konstrukcji budynku przez osobę niedoświadczoną oraz bez konieczności użycia ciężkiego sprzętu. Dotychczas realizowana prefabrykacja w drewnianym budownictwie szkieletowym dotyczy tworzenia całych ścian spersonalizowanych do konkretnego projektu. Ściany takie są niemal kompletnie wykończone i wyposażone (np. w okna, drzwi, instalacje) oraz wymagają dużej dokładności wykonania i montażu. Zaletą tej technologii jest krótki czas montażu budynku (kilka dni) na budowie, a wadą jest konieczność zapewnienia możliwości dojazdu ciężkiego sprzętu koniecznego w czasie montażu oraz długi czas projektowania poprzedzający proces produkcji. Innym sposobem wykonywania budynków w technologii szkieletu drewnianego, niewymagającego dojazdu i użycia ciężkiego sprzętu, ale będącego czasochłonnym jest technologia wznoszenia takich budynków w całości bezpośrednio na budowie z drobnowymiarowych elementów z drewna litego i drewnopochodnych materiałów płytowych. Istotną wadą powyższego rozwiązania jest to, że technologia ta wymaga dobrze wykwalifikowanych kadr znających zagadnienia budownictwa drewnianego, których brakuje na rynku pracy oraz charakteryzuje się dużą ilością odpadów podczas budowy oraz długim czasem montażu, tj. około kilkunastu tygodni.

## 2. Skrócony opis systemu WCH

Przedstawiona w tym artykule autorska technologia WCH systemu prefabrykacji drewnianych modułów (paneli) do wznoszenia budowy domów oraz obiektów użyteczności publicznej jest certyfikowaną, uprzemysłowioną i zmodułowaną technologią budowy szkieletowych domów drewnianych wykonywanych bezpośrednio na budowie. W rozwiązaniu tym zastąpiono konieczność wykonywania budynku z pojedynczych drobnowymiarowych elementów (belkowych i płytowych) prefabrykowanymi modułami średniej wielkości, dostosowanymi do montażu ręcznego bez konieczności użycia ciężkiego sprzętu. Technologia ta umożliwia zarówno wznoszenie nowych



**Rys. 1.** Przykładowe typowe moduły WCH: a) moduł pełny MP, b) moduł połówkowy MPo, c) moduł okienny MO, d) moduł drzwiowy MD (w nawiasach podano wymiar dla poszycia z płyty gipsowo-włóknowej 12,5)

konstrukcji obiektów, jak również może być z powodzeniem wykorzystana do modernizacji czy wykonywania konstrukcji nadbudów istniejących lub remontowanych obiektów – z uwagi na lekkość konstrukcji.

Podstawowym modułem wykorzystywanym w tej technologii jest panel o wymiarach 1,25x2,75 m. Uzupełnieniem systemu WCH są typowe panele połówkowe oraz panele okienne, drzwiowe i nadprożowe wraz z elementami pomocniczymi. Panele w odmianie pełnej i połówkowej oraz pozostałe panele typowe, przygotowane są na uprzemysłowionej linii montażowej umożliwiającej produkcję ich z dużą powtarzalnością i dokładnością. Opisywana technologia umożliwia produkcję powtarzalnych elementów na magazyn jeszcze przed opracowaniem projektu i zamówieniem ze strony klienta. A to oznacza, iż wykonawcy mogą otrzymać zamówioną konstrukcję budynku w zaledwie kilka dni.

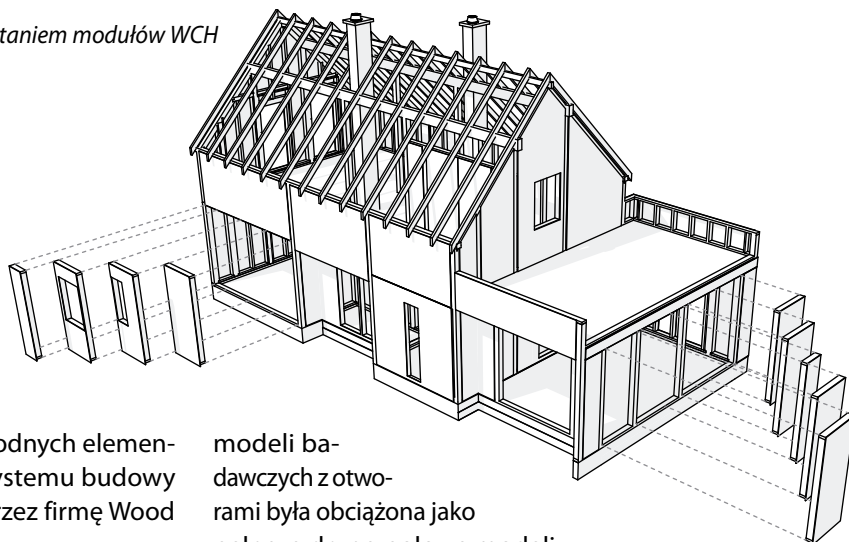
W hali produkcyjnej produkowane są stałe typowe i zawsze powtarzalne elementy systemu, do których w momencie złożenia zamówienia przez klienta wykonywane są tylko pozostałe elementy zgodnie z indywidualnym projektem. Przykładowe standardowe moduły systemu WCH z poszyciem płytą OSB lub płytą gipsowo-włóknową oraz ich wymiary pokazano na rysunku 1.

W skład systemu wchodzi również elementy liniowe, tj.:

- belka podwaliny typu DUO o przekroju 80x160 mm,
- belka oczepu o przekroju 60x160 mm,
- element uzupełniający o przekroju 80x160 mm, z którego wykonywane są słupki narożne i uzupełniające – skręcane wkrętami stożkowymi min. 4x  $\varnothing 8$  o długości 140 mm,
- inne nietypowe uzupełnienia ścian.

Ideę budowy domów w oparciu o technologię WCH przedstawiono schematycznie na rysunku 2.

**Rys. 2.** Schemat idei budowy domów z wykorzystaniem modułów WCH



### 3. Badania laboratoryjne

Badania modułów systemu WCH zrealizowano w Laboratorium Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach i opracowano przez pracowników Katedry Inżynierii Budowlanej w ramach projektu POIR.01.01.01-00-1303/17 „Opracowanie innowacyjnej technologii systemu prefabrykacji drewnianych i drewnopochodnych elementów modułowych oraz innowacyjnego systemu budowy obiektów modułowych” realizowanego przez firmę Wood Core House z Jaworzna.

Badania laboratoryjne zostały wykonane na specjalnie przygotowanych stanowiskach badawczych na modelach w pełnej skali technicznej i obejmowały dwa zasadnicze poniższe etapy.

- Etap I – badania modułów (paneli) pod obciążeniem pionowym (doraźnym) w celu określenia ich nośności i odkształcalności na obciążenia grawitacyjne pionowe, obejmujące panele pełne, połówkowe i wybrane panele z otworami.
- Etap II – badanie wielkoskalowych fragmentów obiektów (w warunkach zbliżonych do rzeczywistych) wykonanych w autorskim systemie drewnianych modułów (paneli) prefabrykowanych w aspekcie nośności oraz sztywności przestrzennej budynków obejmujące:
  - sztywność i nośność liniowego układu modułów (paneli) według EN 594 [1],
  - sztywność i nośność narożnego łączenia modułów (paneli),
  - nośność i sztywność połączenia modułów (paneli) z elementami konstrukcji stropu.

#### 3.1. Nośność i odkształcalność na obciążenia pionowe

Widok wybranych modeli badawczych badanych w ramach etapu I, ustawionych na specjalnie przygotowanym stanowisku badawczym do badania paneli pod obciążeniem pionowym, pokazano na rysunku 3. Obciążenie modeli pełnych i połówkowych było realizowane za pomocą siłownika hydraulicznego poprzez trawers – jako obciążenie równomiernie rozłożone przyłożone do oczepu. Natomiast połowa

**Rys. 3.** Widoki modeli na stanowisku badawczym: (od lewej) modułu pełnego „P” z poszyciem płyty gipsowo-włóknowych, modułu okiennego „OK” z poszyciem z płyty OSB i modułu dla okien tarasowych „OD”



modeli badawczych z otworami była obciążona jako pełne, a druga połowa modeli była obciążona siłą skupioną przyłożoną do środka rozpiętości nadproża. Badania modeli były prowadzone pod obciążeniem statycznym, doraźnym, w pełnym zakresie obciążeń, do zniszczenia i do wystąpienia znacznych odkształceń w modelu.

Obciążenie przykładano w sposób statyczny, z prędkością ok. 2 kN/min. Wyniki rejestrowano co 0,5 sekundy. Czas badania modułu wynosił ok. 5 minut  $\pm$  120 sekund (analogicznie jak jest wymagany w normach dotyczących badań drewna). W trakcie badania rejestrowano wielkość siły obciążającej oraz wielkości odkształceń z wykorzystaniem głównie czujników indukcyjnych, a dla wybranych modeli odkształcenia były rejestrowane z wykorzystaniem systemu pomiarów optycznych Aramis. Wykorzystanie systemu Aramis umożliwiło dokładniejszą obserwację odkształceń płyty poszycia w odniesieniu do szkieletu drewnianego oraz obserwację odkształceń w strefie docisku słupków do podwalin, zagadnienia te opisano szerzej w [2, 3]. Wartości charakterystyczne siły niszczącej oraz uśrednione wartości przemieszczeń opracowane dla poszczególnych serii modeli badawczych przedstawiono w tabeli 1. Wartości przemieszczeń podane w tabeli 1 stanowią średnią z wartości przemieszczeń odpowiadających sile niszczącej uzyskanej dla poszczególnych paneli. Dla porównania przedstawiono

**Tabela 1.** Zbiorcze zestawienie wyników z badań dla poszczególnych serii modeli

Oznaczenie modeli	Rodzaj poszycia	Liczba modeli	Wartość charakterystyczna siły niszczącej z badań [kN]	Wartość charakterystyczna siły niszczącej z obliczeń [kN]	Przemieszczenie średnie pionowe w badaniach [mm]:
Moduł pełny MP	plyta gipsowo-włóknowa	8	111,72	112	6,0 ± 1,2
	plyta OSB	8	115,76	112	8,1 ± 4,1
Moduł połówkowy MPo	plyta gipsowo-włóknowa	8	61,98	56	7,0 ± 1,2
	plyta OSB	8	60,52	56	8,9 ± 3,4
Moduł okienny MO	plyta gipsowo-włóknowa (obciążenie rozłożone)	4	118,31	99	6,5 ± 1,4
	plyta OSB (obciążenie rozłożone)	4	138,23	99	8,6 ± 0,2
Moduł okienny MO	plyta gipsowo-włóknowa (obciążenie skupione)	4	74,08	52,41	2,1 ± 0,7
	plyta OSB (obciążenie skupione)	4	59,93	52,41	2,2 ± 0,4
Moduł dla okien tarasowych MD	(bez poszycia (obciążenie rozłożone))	4	59,93	52,41	-
	bez poszycia (obciążenie skupione)	4	63,28	52,41	-

również wartości charakterystyczne siły niszczącej wyznaczone na podstawie obliczeń.

Porównując wyniki badań z obliczeniami, stwierdzono, że badane moduły (panele) spełniają wymagania zapewnienia bezpieczeństwa użytkowego budynku (czyli zapewnienia SGU i SGN) od obciążeń pionowych, co najmniej przy następujących założeniach (które były założeniami wstępnymi przyjętymi do analiz teoretycznych poprzedzających badania):

- od masy własnej dwóch kondygnacji ścian,
- od masy własnej dwóch kondygnacji stropów o rozpiętości do 6,0 m i obciążeniu użytkowemu wynoszącym minimum 2,0 kN/m<sup>2</sup> na każdym ze stropów,
- od obciążenia śniegiem dla 2 strefy śniegowej wynoszącej 0,90 kN/m<sup>2</sup>.

Najczęstszym decydującym kryterium o nośności modułów na obciążenia pionowe były odkształcenia związane z przekroczeniem docisku (wytrzymałości w poprzek włókien) słupka do podwaliny lub ocepzu górnego.

### 3.2. Nośność i odkształcalność na obciążenia poziome

Nośność paneli na obciążenia poziome i sztywność postaciową paneli określono w badaniach laboratoryjnych zgodnie z normą PN-EN 594:2011E [1], co wynika z wymagań

Eurokodu 5, p. 9.2.4.1 (4)P [4]. Pełny zakres badań dla określenia nośności i sztywności paneli pod obciążeniem poziomym był obszerny i obejmował zarówno układy liniowe (rys. 4), jak i modele przestrzenne wykonane w pełnej skali technicznej (rys. 5).

Zasadnicze badania dla określenia nośności usztywniającej paneli dotyczyły głównie serii badań liniowego układu paneli, w których określono nośność pojedynczych paneli, dwóch i trzech paneli ułożonych w jednej linii, dlatego w tym artykule ograniczono się do przedstawienia wyników badań układów liniowych. W trakcie badania każdy słupek panelu obciążono dodatkową siłą 5 kN (zgodnie z [1]). Na podstawie badań można stwierdzić, że decydującym kryterium o nośności poziomej modułów jest rozstaw łączników zespalających poszycie ze szkieletem konstrukcji. Wyniki badań wytrzymałościowych liniowego układu drewnianych modułów (paneli) prefabrykowanych w aspekcie określenia nośności panelu na obciążenia poziome, przy przyjętym 130 milimetrowym rozstawie zszywek przedstawiono w tabeli 2, natomiast wyniki sztywności postaciowych paneli dla poszczególnych serii pokazano w tabeli 3. Dodatkowo ponad wymagania normy [1] wykonano jedną serię badań dla pojedynczego układu modułu z poszyciem z płyty OSB, w którym pierwszy słupek dodatkowo zakotwiono



**Rys. 4.** Widoki wybranych modeli na stanowisku badawczym: (od lewej) pojedynczego modułu pełnego „MP” z poszyciem z płyty OSB, „MP” z poszyciem z płyty gipsowo-włóknowej, układu linowego dwóch modułów, układu linowego trzech modułów

**Rys. 5.** Widoki wybranych modeli kubaturowych na stanowisku badawczym: (od lewej) model „domku” z poszyciem z płyt OSB, model narożnego układu paneli z poszyciem z płyt gipsowo-włóknowych



do fundamentu z wykorzystaniem stalowego złącza kotwiącego. Serię tę, w tabeli 2, oznaczono jako 1MPk. W badaniach laboratoryjnych stwierdzono istotny wpływ zakotwienia paneli (zamocowania panelu do fundamentu za pomocą złącza kotwiącego) na wartości nośności paneli na obciążenia poziome (*racking strength*), jak również na wartość sztywności postaciowej (w płaszczyźnie panelu) paneli (*racking stiffness*), które były o ponad 10% większe niż w przypadku paneli niezakotwionych.

W trakcie badań zaobserwowano również, że złącze kotwiące zabezpieczyło skutecznie moduł przed podrywaniem, które obserwowano w pozostałych badaniach pod obciążeniem poziomym bez stosowania złącza kotwiących.

Podsumowując zrealizowane badania laboratoryjne w odniesieniu do założeń wstępnych przyjętych w badaniach (podanych w poprzednim podpunkcie), należy stwierdzić, że sztywność postaciowa budynku dwukondygnacyjnego ze stropami o rozpiętości do 6 m (czyli szerokości 12 m – w odniesieniu do kierunku wiatru) będzie zapewniona, jeżeli układ geometryczny ścian usztywniających będzie

tworzyć średnio trzy panele pełne przypadające na jedną ścianę usztywniającą, lecz w każdej ze ścian będą występować nie mniej niż dwa panele pełne.

Z analizy badań wynika, że układy prefabrykowanych modułów ściennych systemu WCH zapewnią z nadstatkiem przenoszenie obciążeń poziomych od oddziaływania wiatrem dla 1 strefy wiatrowej w budynkach dwukondygnacyjnych o wysokości kondygnacji do 3,3 m i rozpiętości ścian usztywniających do 6 m.

#### 4. Podsumowanie

Podstawową zaletą rozwiązania w postaci modułu (panelu) konstrukcyjnego do budowy ścian budynków modułowych (panelowych) jest to, że występuje w różnych odmianach, które mogą być ze sobą łączone. Dzięki temu system jest uniwersalny i nie musi być dostosowywany pod zamówienie, ponieważ odmiany modułu (paneli) są skonstruowane tak, że pozwalają na budowę praktycznie każdego budynku modułowego. W każdej z odmian moduł (panel)

**Tabela 2.** Zestawienie wartości wytrzymałości modułów ściennych na obciążenia poziome

Oznaczenie serii badawczej modułów ściennych	Liczba modułów ściennych w pojedynczym modelu [szt.]	Liczba modeli w serii [szt.]	Wartość średnia siły niszczącej $F_{avg}$ [kN] uzyskana w badaniach, przy obciążeniu poziomym ( <i>racking strength</i> )	Uwagi
1MP	1	4	10,40* (11,18)	-
1MPk	1	4	11,35*	moduły ze złączem kotwiącym
2MP	2	4	23,13* (24,93)	-
3MP	3	4	36,37* (42,32)	-

\* dla poszycia z płyt OSB/3 (w nawiasach podano wartości dla poszycia z płyt g-w)

**Tabela 3.** Zestawienie wartości sztywności postaciowych paneli dla poszczególnych serii

Oznaczenie serii modułów ściennych	Liczba modeli w serii [szt.]	Wartości sztywności postaciowych paneli ( <i>racking stiffness</i> ) z badań $R$ [N/mm]		
		Wartość średnia $R_{avg}$	Wartość maksymalna $R_{max}$	Wartość minimalna $R_{min}$
<b>1MP</b>	4	326* (355)	394* (450)	277* (280)
<b>1MPk</b>	4	373	412	319
<b>2MP</b>	4	1066* (1014)	1173* (1076)	921* (936)
<b>3MP</b>	4	1676* (2433)	1851* (3087)	1400* (1793)

\* dla poszycia z płyt OSB/3 (w nawiasie podano wartości dla poszycia z płyt g-w)

może zostać prefabrykowany z wyprzedzeniem, jeszcze przed przyjęciem zlecenia na budowę. Nie wymaga żadnej dodatkowej obróbki ani dostosowania pod konkretne wymogi użytkownika. Na plac budowy może być przewieziony bezpośrednio z magazynu, co ma wpływ na wysoką jakość, dokładność i powtarzalność elementów konstrukcyjnych. Rozwiązanie to pozwala zoptymalizować proces produkcyjny i projektowy. Ogranicza powstawanie odpadów w czasie budowy do minimum, dzięki czemu korzystnie wpływa na środowisko. Moduły (panele) konstrukcyjne są łatwo transportowane, transportem dopasowanym do możliwości dojazdu do miejsca budowy. Montaż konstrukcji budynku (powyżej posadowienia) z użyciem takich modułów (paneli) trwa maksymalnie krótko, od około 3 do 5 dni roboczych. Dzięki tej technologii wyeliminowana jest konieczność prowadzenia dodatkowej obróbki elementów konstrukcyjnych na placu budowy. Moduły (panele) montowane są zgodnie z jasną i przejrzystą instrukcją montażu, praktycznie bez użycia specjalistycznych narzędzi. Masa standardowych modułów z poszyciem z płyt OSB nie przekracza 75 kg, a z poszyciem z płyty gipsowo-włóknovej 100 kg, dzięki czemu istnieje możliwość budowy w miejscach o utrudnionej dostępności (transportie), a do montażu wystarczy dwie osoby.

Rozwiązanie to, ze względu na swą prostotę i powtarzalność, umożliwia projektowanie budynków mieszkalnych w oparciu o typowe moduły (panele). Umożliwia również realizację tych projektów na budowie, po przeszkoleniu, przez osoby o podstawowych kompetencjach. Zadaniem zespołów montażowych jest złożenie konstrukcji budynku z prefabrykowanych modułów (paneli) w odpowiedniej kolejności według opracowanej instrukcji montażu.

Opisane wyżej moduły konstrukcyjne do budowy ścian budynku modułowego oraz ściana budynku modułowego są

przedmiotem wynalazku zgłoszonego przez wnioskodawcę – Wood Core House Sp. z o.o. do Urzędu Patentowego RP, w dacie 05.12.2017 r., pod numerem P.423751 w celu uzyskania ochrony patentowej.

**Moduły uzyskały znak CE, czego potwierdzeniem jest Certyfikat stałości właściwości użytkowych nr 1020-CPR-070060028 [5].**



**Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020, I Osi priorytetowej: „Wsparcie prowadzenia prac B+R przez przedsiębiorstwa”, Działania 1.1 „Projekty B+R przedsiębiorstw”, Poddziałania 1.1.1 „Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa”. Projekt realizowany w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju: Konkurs 5/1.1.1/2017 – „Szybka ścieżka” MŚP.**

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 594:2011E: Konstrukcje drewniane. Metody badań. Badania sztywności i nośności płyt ściennych o szkieletcie drewnianym (wersja angielska)
- [2] Węglorz M., Brol J., Kubica J., Hadera R., Nośność na docisk w poprzek włókien w szkieletowych budynkach drewnianych, Materiały Budowlane 11/2020, str. 18–20
- [3] Brol J., Kubica J., Węglorz M., The problem of compressive strength in direction perpendicular to the grains on example of tests of the load-bearing capacity of the continuously supported timber-frame sill plate, Materials 11/2020, str. 18–20
- [4] PN-EN 1995-1-1:2010/NA:2010 Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne. Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków
- [5] Certyfikat stałości właściwości użytkowych nr 1020-CPR-070060028 [5] z dnia 21.09.2021 r. wydany przez Instytut Techniczno-Badawczy Budownictwa, Praga

Serdecznie zapraszamy autorów do publikowania w „Przeglądzie Budowlanym”

Za publikację w naszym miesięczniku uzyskuje się **40** punktów