

Nośność usztywniająca szkieletowych ścian drewnianych wykonanych w systemie WCH

Stiffening load capacity of frame walls wooden ones made in the WCH system

dr inż. Janusz Broł (ORCID: 0000-0001-7413-1191), Politechnika Śląska, Wood Core House Jaworzno, mgr inż. Rafał Hadera, Wood Core House Jaworzno

DOI: 10.5604/01.3001.0053.9365

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki wybranych badań laboratoryjnych certyfikowanych modułów do wykonywania budynków w szkieletowej konstrukcji drewnianej. Przedmiotem badań było wyznaczenie nośności usztywniającej modułów, czyli ich nośności i sztywności na oddziaływania poziome, np. od wiatru. Przedstawione wyniki badań dotyczą badań ścian w układzie liniowym zgodnie z wymogami normy EN 594 [1].

Słowa kluczowe: drewno, prefabrykacja, konstrukcje drewniane, lekkie konstrukcje szkieletowe, budownictwo mieszkaniowe.

Abstract: This paper presents the results of selected laboratory tests conducted on certified timber frame wall panels used for the construction of buildings. The research scope was to determine a racking stiffness of the panels, i.e. their carrying capacity and stiffness to resist a horizontal load in the plane of the panel, such as: wind load. The presented test results relate to tests of the linear arrangement of wall panels in accordance with the requirements of EN 594 [1].

Keywords: wood, prefabrication, wooden structures, light frame structures, residential construction.

1. Wprowadzenie

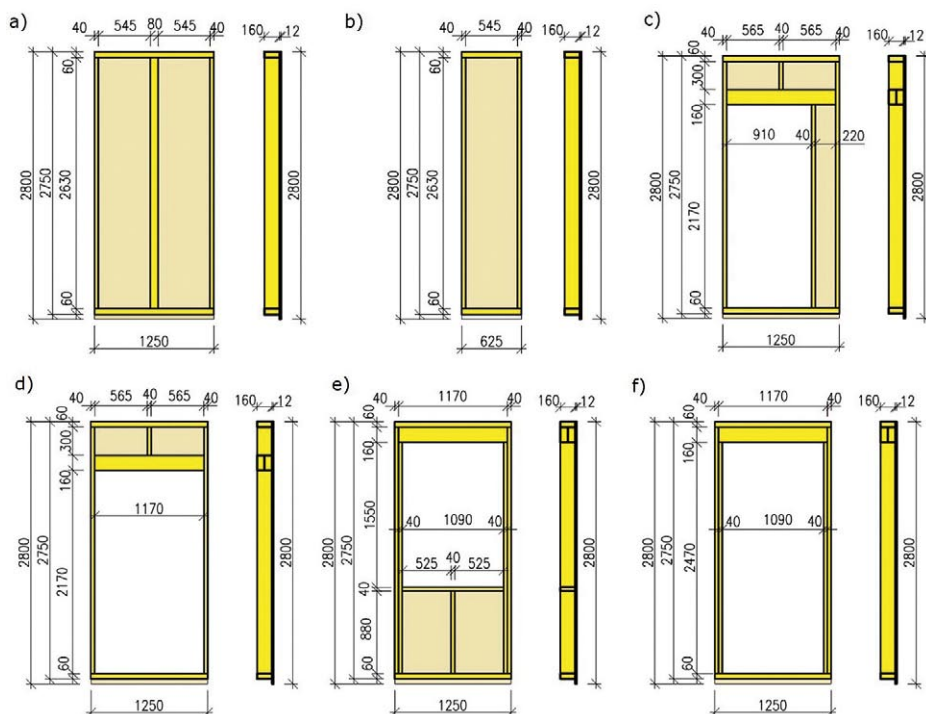
W celu zapewnienia bezpiecznego użytkowania budynków wykonanych w konstrukcji szkieletowej konieczne jest, oprócz zapewnienia ich nośności na obciążenia pionowe, zagwarantowanie ich niezmienności geometrycznej, którą można uwzględnić odpowiednio konstruując ściany oraz ich połączenia ze stropami. Geometryczną niezmiennoscą ścian szkieletowych w ich płaszczyźnie należy zapewnić stosując tak zwane „przepony ściennie”. Zgodnie z wymaganiami Eurokodu 5 (w skrócie: EC5), PN-EN 1995-1-1:2010, p. 9.2.4.1 (3)P [2]: „przepony ściennie pełniące rolę tężników powinny być usztywnione w płaszczyźnie ściany za pomocą np.: materiałów płytowych, ukośnym stężeniem lub połączeniem montażowym”. W praktyce budowlanej poszycia ścian najczęściej wykonane są z materiałów płytowych, takich jak: płyty OSB, płyty wiórowe lub płyty gipsowo-włóknowe. Rozwiązanie to w obliczeniach sztywności traktowane jest jako przepony ściennie, dla których należy określić tak zwaną „nośność usztywniającą ścian” (nośność na ścianie w płaszczyźnie ściany, dla przeniesienia siły poziomej działającej w górnym narożu ściany wspornikowej, zabezpieczonej przed obrotem i przesunięciem przez oddziaływania pionowe i/lub zakotwienie). Zgodnie z wymaganiami EC5, p. 9.2.4.1 (4)P [2]: „nośność usztywniającą ściany można określić na podstawie badania wg EN 594 lub obliczeń, stosując odpowiednie metody analityczne lub modele obliczeniowe”. Przedstawione w artykule badania nośności usztywniającej drewnianych modułów systemu WCH wykonano na modelach w pełnej skali technicznej, w Laboratorium Wydziału

Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Wyniki badań zostały opracowane 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 były wykonane w celu określenia takich parametrów, jak: nośność i sztywność na różne rodzaje obciążeń (pionowe, poziome), i sprawdzeniu czy gwarantują one bezpieczne użytkowanie obiektów mieszkalnych, co najmniej dwukondygnacyjnych o rozpiętości stropów do sześciu metrów.

Laboratoryjne badania nośności usztywniającej drewnianych modułów systemu WCH na oddziaływania poziome zostały poprzedzone wyznaczeniem charakterystycznych wielkości nośności i sztywności pod obciążeniem pionowym. Wyniki tych badań przedstawiono w artykule [3], a dodatkowe spostrzeżenia przedstawiono w pracach [4, 5]. W celu poznania i określenia odporności konstrukcji budynku wykonanego z przedmiotowych modułów (pokazanych na rysunku 1a) na oddziaływania poziome, zrealizowano trzy rodzaje badań obejmujące określenie takich parametrów, jak:

- sztywność i nośność liniowego układu modułów według EN 594 [1],
- nośność i sztywność połączenia modułów z elementami konstrukcji stropu (sztywność przestrzenna) – wykonane na modelach o wymiarach zewnętrznych 4,1x 6,6 x 3,2 m (rys. 2),
- sztywność i nośność narożnego łączenia modułów (rys. 3).

Rys. 1. Geometria podstawowych, standardowych modułów systemu WCH: a) moduł pełny MP, b) moduł połówkowy MPo, c) moduł drzwi wewnętrznych, d) moduł drzwi zewnętrznych, e) moduł MO dla okien o wysokości 1,5 m, f) moduł MD dla okien tarasowych



W niniejszym artykule skupiono się na wyznaczeniu nośności usztywniającej ścian, czyli przedstawiono wyniki badań tylko dla układów liniowych.

2. Syntetyczny opis systemu WCH

System prefabrykacji drewnianych modułów Wood Core House (WCH) jest modułową, uprzemysłowioną, certyfikowaną technologią do budowy szkieletowych domów drewnianych wykonywanych bezpośrednio na budowie. Szerzej technologia ta została opisana w [3]. Podstawowym modułem wykorzystywanym w tej technologii jest panel o wymiarach 1,25x2,75 m, obejmującym moduły pełne i z otworowaniem okiennym lub drzwiowym. Uzupełnieniem systemu WCH są typowe panele połówkowe oraz belki nadprożowe i elementy pomocnicze. Szczegółowe wymiary modułu pełnego i jego elementów składowych podano na rysunku 1. Panele w odmianie pełnej i połówkowej oraz pozostałe panele typowe przygotowane są na uprzemysłowionej linii montażowej umożliwiającej ich produkcję z dużą powtarzalnością i dokładnością. Przykładowe standardowe moduły systemu z poszyciem płytą OSB oraz ich wymiary pokazano na rysunku 1a, a schematycznie ideę budowy domów w oparciu o tę technologię przedstawiono na rysunku 4.

3. Badania laboratoryjne nośności usztywniającej

Nośność usztywniającą konstrukcji ściany w systemie WCH na oddziaływania poziome określono w badaniach laboratoryjnych zgodnie z normą PN-EN 594:2011 E [1], co jest zgodne z zapisami EC5 [2]. Badania laboratoryjne na oddziaływania poziome zostały wykonane w specjalnie przygotowanych do tego stanowiskach badawczych dla sześciu serii modeli badawczych w pełnej skali technicznej. Trzy serie dotyczyły modeli z poszyciem z płyty OSB i trzy analogiczne serie dotyczyły modeli z poszyciem z płyty gipsowo-włóknowej Fermacell. Schemat stanowiska do badań nośności usztywniającej pokazano na rysunku 5, natomiast widok wybranych modeli w trakcie badania pokazano na rysunku 6.

Rys. 2. Widok modelu „domku” z poszyciem z płyt gipsowo-włóknowych



Rys. 3. Badanie narożników ścian z poszyciem z płyt OSB

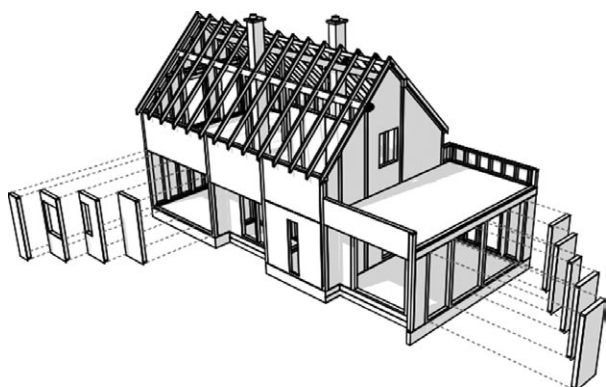


Wysokość modeli w badaniach była stała i wynosiła 2,89 m, co odpowiada pełnej wysokości ściany w świetle konstrukcji, przyjętej w systemie, a na którą składały się:

- wysokość podwaliny: 0,08 m,
- wysokość konstrukcyjna modułu: 2,75 m,
- wysokość oczepu górnego: 0,06 m.

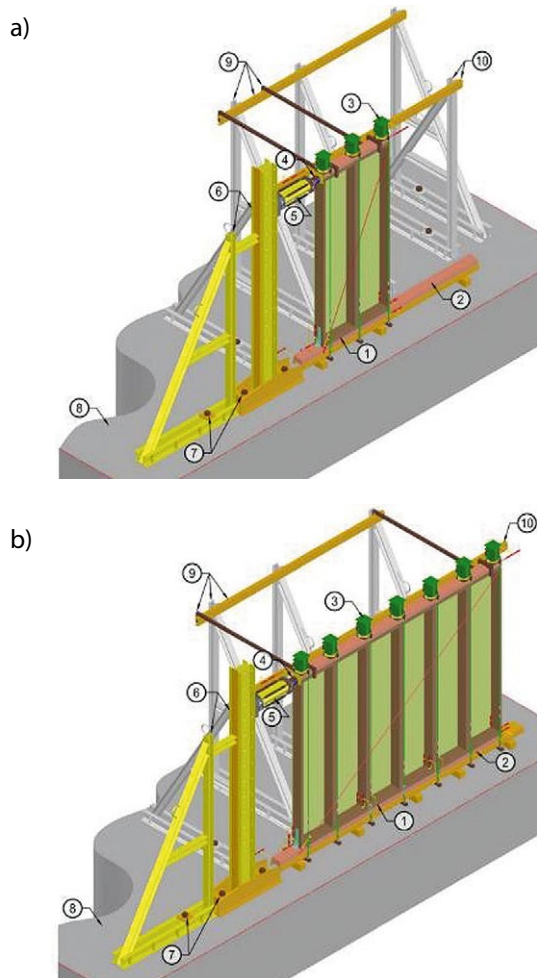
Długość modeli badawczych (ściany) w badaniach była zmienna i wynosiła:

- 1,25 m – z pojedynczym modułem; seria badań oznaczona jako 1MP (rys. 6a),
- 2,50 m – przy podwójnym układzie modułów; seria badań oznaczona jako 2MP (rys. 6b),
- 3,75 m – przy potrójnym układzie modułów; seria badań oznaczona jako 3MP (rys. 6c).



Rys. 4. Schemat idei budowy domów z wykorzystaniem modułów WCH

W każdej serii zbadano co najmniej 4 modele. Modele badawcze zostały wykonane jako układy drewnianych modułów prefabrykowanych tworzących sztywną tarczę ścienną, złożone z elementów szkieletu drewnianego: słupków i belek poziomych, połączonych wzajemnie ze sobą i jednostronnie z poszyciem w postaci płyty OSB/3 grubości 12 mm lub płyty gipsowo-włóknowej typu Fermacell o grubości 15 mm. Elementy drewniane wykonano z drewna konstrukcyjnego litego klasy C24 łączonego wzdłużnie na złącza klinowe (KVH). Płyty poszycia zostały połączone z ramą szkieletu drewnianego za pomocą zszywek o średnicy $d = 1,8$ mm, szerokości korony $W = 12,7$ mm i długości $L = 45$ mm, w rozstawie zszywek co 130 mm. Grzbiet zszywek był obrócony o kąt ok. 45° w stosunku do kierunku włókien. Połączenie każdego z prefabrykowanych paneli ściennych tworzących układ liniowy z belkami podwalinowymi o wymiarach przekroju poprzecznego 80×160 mm wykonano za pomocą 2 wkrętów samonawiercających z łbem stożkowym o wymiarach 8×100 mm, w odległości 150 mm od początku i końca pojedynczego modułu, zgodnie z wymogami EN 594. Wzajemne połączenie prefabrykowanych paneli ściennych ze sobą wykonano za pomocą 4 wkrętów samonawiercających z łbem podkładkowym o wymiarach 8×80 mm. Połączenie prefabrykowanych paneli ściennych tworzących układ liniowy z belkami oczepowymi o wymiarach przekroju poprzecznego 60×160 mm wykonano za pomocą 2 wkrętów samonawiercających z łbem stożkowym o wymiarach 8×140 mm. Podwalina do konstrukcji stanowiska była przykręcona śrubami M12 co max. 1,2 m. Dodatkowo ponad wymagania normy [2] wykonano jedną serię badań porównawczych obejmujących pojedynczy



Rys. 5. Stanowisko badawcze z ustawionym układem liniowym dla: a) pojedynczego modułu, b) trzech modułów ściennych, (oznaczenia na rysunku: 1 – model badawczy, 2 – podwalina mocowana do stanowiska, 3 – układ sprężynowo – ciągnowy, 4 – siłomierz, 5 – siłownik hydrauliczny, 6 – sztywna konstrukcja wsporcza siłownika hydraulicznego, 7 – śruby kotwiące, 8 – strop hali (płyta wielkich sił), 9 – konstrukcja zabezpieczająca element badawczy w płaszczyźnie prostopadłej do działania siły, 10 – niezależna konstrukcja wsporcza do montażu górnych czujników indukcyjnych)

moduł z poszyciem z płyty OSB, w którym pierwszy słupek był zakotwiony bezpośrednio do stanowiska badawczego z wykorzystaniem stalowego złącza kotwiącego (rys. 9b). Badanie to wykonano w celu poznania wpływu dodatkowego kotwienia na nośność usztywniającą modułów. Serię tę oznaczono jako 1MP.



Rys. 6. Widoki wybranych modeli na stanowisku badawczym: a) pojedynczego modułu pełnego z poszyciem z płyty gipsowo-włóknowej, b) układu liniowego dwóch modułów z poszyciem z płyty OSB, c) układu liniowego trzech modułów z poszyciem z płyty OSB

Tabela 1. Nośności modułów na obciążenia poziome dla poszczególnych serii

Lp.	Seria badań	Liczba modeli [szt.]	Nośność panelu na obciążenia poziome (racking strength) F [kN]			Wartość oblicz. nośności panelu na obciążenia poziome (racking strength) F_d [kN]		Nośność obliczeniowa wg EC5 F_v, R_d [kN]	
			F_{avg} (śred.)	F_{max}	F_{min}	$F_{d(avg)}$	$F_{d(min)}$	metoda A	metoda B
1	1MP-ok	4	11,35	14,13	8,66	7,86	6,00	5,82	6,91
2	1MP-o	4	10,40	11,58	9,56	7,20	6,62	5,82	6,91
3	1MP-w	4	11,18	13,58	7,93	7,74	5,49	-	-
4	2MP-o	4	23,13	25,02	22,38	16,01	15,49	11,64	13,82
5	2MP-w	4	24,93	28,14	23,78	17,26	16,46	-	-
6	3MP-o	4	36,37	39,24	33,29	25,28	23,05	17,46	20,73
7	3MP-w	4	42,32	46,54	32,60	29,30	22,57	-	-

(MP-o) oznacza poszycia z płyt OSB/3, (MP-w) oznacza poszycie z płyt g-w

Badania rozpoczynano od przyłożenia obciążenia pionowego o wielkości $5 \text{ kN} \pm 10\%$, do belki oczepowej, w osiach słupków modułów ściennych. Obciążenie to realizowano za pomocą układów sprężynowo-ciężnowych, wyposażonych w czujniki tensometryczne do kontroli siły naciągu, które umożliwiły monitorowanie i rejestrowanie sił w trakcie badania.

Po zrealizowaniu obciążenia pionowego, w poziomie belki górnej panelu przykładano obciążenie w postaci siły poziomej F (racking load). Badanie prowadzono aż do osiągnięcia przemieszczenia minimum 100 mm w poziomie na końcu belki górnej panelu. Czas badania modułów wynosił ok. 5 minut ± 120 sekund, a temperatura w trakcie badania wynosiła ok. 20–22 °C. Pomierzona wilgotność drewna zawierała się we wszystkich elementach badanych serii w przedziale od 10 do 12%, a wilgotność powietrza wynosiła około 40%.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań można stwierdzić, że decydującym kryterium o nośności poziomej modułów jest nośność łączników zespalających poszycie ze szkieletem konstrukcji. We wszystkich badaniach konstrukcja drewniana nie uległa zniszczeniu, tylko się odkształciła wskutek utraty nośności łączników zespalających płyty poszycia z drewnianym szkieletem. Płyty poszycia z OSB także nie uległy zniszczeniu, jedynie się przemieściły względem konstrukcji szkieletu, z uwagi na uplastycznienie i wyciąganie zszywek zespalających (rys. 7). W przypadku płyty gipsowo-włóknowej Fermacell dodatkowo zaobserwowano wykruszenia płyty w narożach (rys. 8).

Wyniki badań wytrzymałościowych liniowego układu drewnianych modułów prefabrykowanych w aspekcie określenia nośności panelu na obciążenia poziome, przy przyjętym 130 milimetrowym rozstawie zszywek przedstawiono w tabeli 1, natomiast wartości nośności usztywniających paneli dla poszczególnych serii podano w tabeli 2. Wartości obliczeniowe nośności F_d paneli na obciążenia poziome podane w tabeli 1 wyznaczono przy założeniu współczynnika modyfikującego $k_{mod} = 0,9$ (czyli jak dla oddziaływania krótkotrwałego wiatrem) i częściowego współczynnika bezpieczeństwa właściwości materiału $\gamma_m = 1,3$. Dla porównania w tabeli 1 podano również obliczeniową nośność na ścinanie w płaszczyźnie ściany F_v, R_d dla poszycia z płyty OSB, wyznaczoną według dwóch

Rys. 7. Przesunięcie poszycia wskutek odkształcenia zszywek mocujących poszycie (widok po odciążeniu)



uproszczonych metod A i B zawartych w EC5 [2]. Jak można zaobserwować, w badaniach uzyskano nieco wyższe wartości nośności usztywniających od wyznaczonych analitycznie.

Analizując obserwacje z badań i wyniki badań modeli z pojedynczym panelem w seriach 1MPK (z dodatkowym kotwieniem) i 1MP (bez dodatkowego kotwienia) należy podkreślić, że dodatkowe kotwienie pierwszych słupków ścian do fundamentu wykonywane od strony działania sił istotnie wpływa na odkształcalność, nośność i podrywanie ściany. W badaniach laboratoryjnych stwierdzono, że wpływ zakotwienia paneli (zamocowania panelu do fundamentu za pomocą złącza kotwiącego) miał korzystny wpływ na wartości nośności paneli na obciążenia poziome (racking strength), jak również na wartość nośności usztywniającej paneli (w płaszczyźnie panelu – racking stiffness). Wartości te zwiększyły się o około 10% w odniesieniu do 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 (rys. 9).

4. Podsumowanie

Podsumowując zrealizowane badania laboratoryjne w odniesieniu do założeń wstępnych przyjętych w badaniach (podanych we wstępie), 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 będą tworzyć średnio trzy panele pełne przypadające na 1 ścianę usztywniającą, lecz w każdej ze ścian będą

Tabela 2. Zestawienie wartości sztywności postaciowych modułów dla poszczególnych serii

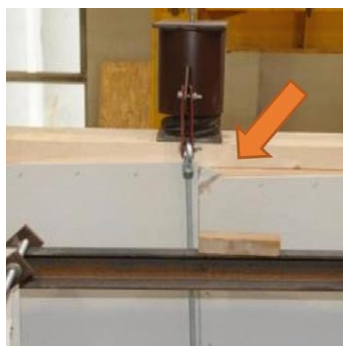
Oznaczenie serii badawczej modułów ściennych	Liczba modeli w serii [szt.]	Wartości nośności usztywniającej paneli (racking stiffness) z badań R [N/mm]		
		Wartość średnia R_{avg}	Wartość maksymalna R_{max}	Wartość minimalna R_{min}
1MP	4	326* (355)	394* (450)	277* (280)
1MPk	4	373	412	319
2MP	4	1066*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

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

występować nie mniej niż dwa panele pełne.

Z analizy wyników badań wynika, że układy prefabrykowanych, modułów ściennych systemu WCH zapewnią z nadlatkiem 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.

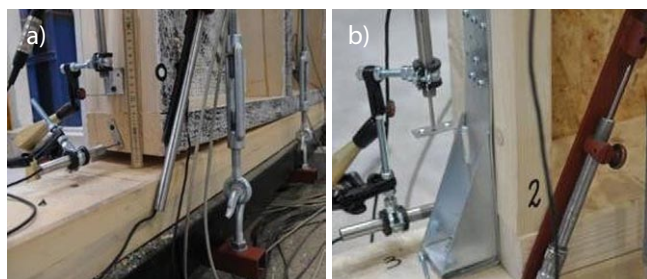
Porównując wyznaczoną analitycznie nośność na ścinanie w płaszczyźnie ściany F_v, R_d dla poszycia z płyty OSB, wyznaczoną według dwóch uproszczonych metod A i B zawartych w Eurokodzie 5, można stwierdzić, że w badaniach uzyskano w większości wyższe wartości nośności od wartości teoretycznych wyznaczonych analitycznie, co potwierdza słuszność wykonywania badań, gdyż zawarte w normie algorytmy są metodami uproszczonymi. Ponadto w przypadku stosowania poszycia ścian z innych materiałów płytowych niż drewnopochodne, wyznaczenie nośności na ścinanie w płaszczyźnie ściany F_v, R_d jest bardzo utrudnione i nie ujęte w przepisach Eurokodu 5. Podsumowując wyniki badań należy także podkreślić, że nie bez znaczenia jest wykonywanie dodatkowego kotwienia słupków pionowych bezpośrednio do konstrukcji fundamentu (z pominięciem elementów poziomych ściany). Zakotwienie paneli (zamocowanie słupków do fundamentu za pomocą złącza kotwiącego) zwiększyło wartość nośności paneli na obciążenia poziome (*racking strength*), jak również



Rys. 8. Widok uszkodzenia płyty gipsowo-włóknowej w narożu

wartość nośności usztywniającej paneli (w płaszczyźnie panelu – *racking stiffness*) o ponad 10% w odniesieniu do paneli nie-zakotwionych. Zakotwienie paneli ograniczyło również podrywanie, które obserwowano w pozostałych badaniach pod obciążeniem poziomym, bez stosowania złącza kotwiącego. Stąd zakotwienia te zaleca się wykonywać w każdym narożu zewnętrznym budynku, jak i przy każdym dużym otworze. Opisane wyżej moduły konstrukcyjne do budowy ścian budynku modułowego oraz ściana budynku modułowego, które były wykorzystane w badaniach, są przedmiotem wynalazku zgłoszonego przez wnioskodawcę – Wood Core House Sp. z o.o. do Urzędu Patentowego RP, w dacie 05.12.2017r., pod numerem P.423751 w celu uzyskania ochrony patentowej.

Moduły uzyskały znak CE, czego potwierdzeniem jest Certyfikat stałości właściwości użytkowych nr 1020-CPR-070060028 [6]. 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.



Rys. 9. Porównanie podrywania w przypadku zamocowania panelu do fundamentu za pomocą złącza kotwiącego (b) i bez dodatkowego kotwienia (a)

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 594:2011E: Konstrukcje drewniane. Metody badań. Badania sztywności i nośności płyt ściennych o szkieletcie drewnianym (wersja angielska)
- [2] PN-EN 1995-1-1:2010/NA:2010: Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne. Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków
- [3] Brol J., Hadera R., Prefabrykowane drewniane moduły WCH do wznoszenia remontów obiektów budowlanych, Przegląd Budowlany 11–12/2022, str. 137–142
- [4] 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
- [5] 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
- [6] Certyfikat stałości właściwości użytkowych nr 1020-CPR-070060028 [5] z dnia 21.09.2021 r. wydany przez Instytut Techniczno-Badawczy Budownictwa, Praga