



RAPORT

z badań starzeniowych połączeń klejowych wykonanych w ramach projektu
pt.: „Opracowanie innowacyjnej technologii budowy domów z zespolonych
warstwowych ścian drewnianych”

(umowa o dofinansowanie projektu nr POIR.01.01.01-00-0274/21-00)

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”

Autorzy raportu:

Marek Węglorz

Z.P.H. PILCH


.....
(podpis)

Andrzej Pilch

Z.P.H. PILCH


.....
(podpis)

Ustroń, wrzesień 2023 r.



Rzeczpospolita
Polska



Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



SPIS TREŚCI

1.	Materiały źródłowe	3
1.1.	Raporty	3
1.2.	Normy i akty prawne	3
1.3.	Certyfikaty	4
2.	Cel i przedmiot badań	5
3.	Badanie starzeniowe połączeń klejowych	6
3.1.	Metodyka badania starzeniowego	6
3.2.	Badania wytrzymałościowe połączeń klejowych przy ściskaniu	7
4.	Podsumowanie wyników badań starzeniowych	11

1. Materiały źródłowe

1.1. Raporty

- [R1] Raport Końcowy z prac Etapu 1 do umowy warunkowej UW-1/RB6/2021 z dnia 12.04.2021 r. wraz z późniejszymi zmianami na rzecz realizacji zleconych części prac merytorycznych obejmujących badania przemysłowe i prace rozwojowe projektu POIR.01.01.01-00-0274/21-00 opracowany przez Politechnikę Śląską dla Z.P.H. PILCH, Gliwice, 31 marca 2022 r.
- [R2] Raport Końcowy z prac Etapu 2 do umowy warunkowej UW-1/RB6/2021 z dnia 12.04.2021 r. wraz z późniejszymi zmianami na rzecz realizacji zleconych części prac merytorycznych obejmujących badania przemysłowe i prace rozwojowe projektu POIR.01.01.01-00-0274/21-00 opracowany przez Politechnikę Śląską dla Z.P.H. PILCH, Gliwice, 30 września 2022 r.

1.2. Normy i akty prawne

- [N1] PN-EN 1995-1-1:2010/NA:2010, Eurokod 5. Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne. Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków.
- [N2] PN-EN 338:2016-06, Drewno konstrukcyjne—Klasy wytrzymałości.
- [N3] PN-EN 384+A1:2018-12, Drewno konstrukcyjne. Oznaczanie wartości charakterystycznych właściwości mechanicznych i gęstości.
- [N4] PN-EN 408+A1:2012, Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne lite i klejone warstwowo. Oznaczanie niektórych właściwości fizycznych i mechanicznych.
- [N5] PN-EN 14080:2013-07, Konstrukcje drewniane. Drewno klejone warstwowo i konstrukcyjne sklejone drewno lite. Wymagania.
- [N6] PN-EN 301:2017-11, Kleje fenolowe i aminowe do drewnianych konstrukcji nośnych. Klasyfikacja i wymagania użytkowe.
- [N7] PN-EN 302-1:2013-06, Kleje do drewnianych konstrukcji nośnych. Metody badań. Część 1: Oznaczanie wytrzymałości na ścinanie przy rozciąganiu wzdłużnym.
- [N8] PN-EN 302-2:2017-10, Kleje do drewnianych konstrukcji nośnych. Metody badań. Część 2: Oznaczanie odporności na rozwarstwianie.

- [N9] PN-EN 302-3:2017-10, Kleje do drewnianych konstrukcji nośnych. Metody badań. Część 3: Oznaczanie wpływu uszkodzeń włókien drzewnych kwasami, spowodowanych cyklicznym działaniem temperatury i wilgotności, na wytrzymałość na rozciąganie poprzeczne.
- [N10] PN-EN 302-4:2013-06, Kleje do drewnianych konstrukcji nośnych. Metody badań. Część 4: Oznaczanie wpływu skurczu drewna na wytrzymałość na ścinanie.

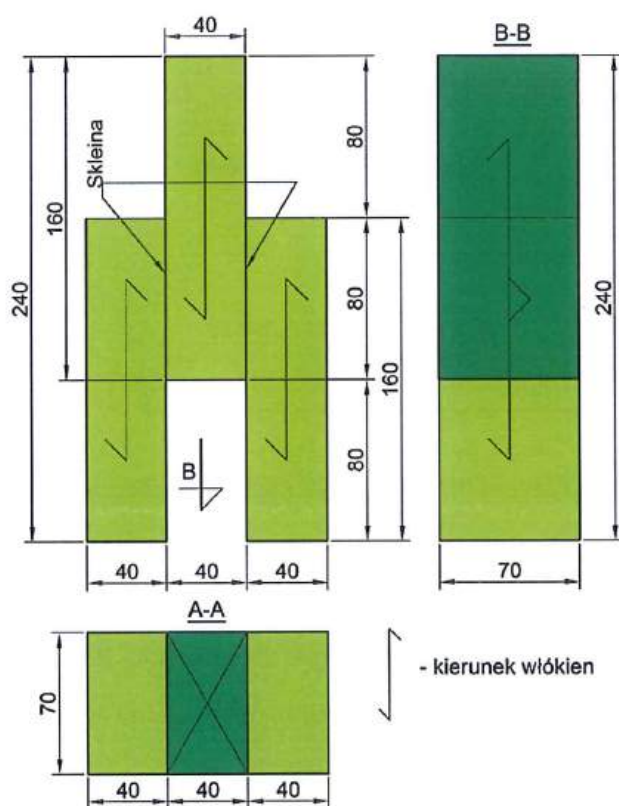
1.3. Certyfikaty

- [T1] Karta techniczna kleju poliuretanowego Kestopur 1 C 10. KiiLTO PRO, 04.05.2022 r.
- [T2] Karta techniczna kleju poliuretanowego Technicqll D4 (R-161), 8.10.2018 r.
- [T3] Karta techniczna kleju dyspersyjnego na bazie PVAc Titebond III Ultimate Wood Glue, 24.04.2018 r.

2. Cel i przedmiot badań

Celem badania starzeniowego było określenie właściwości połączeń klejowych poddanych wpływowi działania czynników atmosferycznych. Przedmiotem badań były próbki połączeń klejowych wykonane z konstrukcyjnego drewna litego, świerkowego (*Picea Abies*), klasy C24 i były czterostronnie strugane. Próbki nie były wcześniej impregnowane.

Szczegółowe wymiary geometryczne modeli połączeń klejowych przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Próbką do badań na ściskanie

Badania laboratoryjne połączeń krawędziaków drewnianych, wykonane z uwzględnieniem zapisów normowych: PN-EN 408+A1:2012 [N4], PN-EN 301:2017-11 [N6] i PN-EN 302-4:2013-06 [N10], obejmowały trzy serie próbek:

- seria „KP-SN”, z wykorzystaniem w połączeniu kleju poliuretanowego Kestopur 1 C 10 [T1],
- seria „TQ-SN”, z wykorzystaniem w połączeniu kleju poliuretanowego Technicql D4 (R-161) [T2],

- seria „TB-SN”, z wykorzystaniem w połączeniu kleju dyspersyjnego na bazie PVAc Titebond III Ultimate Wood Glue [T3].

Serie próbek połączeń klejowych zestawiono w Tablicy 1.

Tablica 1. Zestawienie serii badawczych do badań połączeń klejowych

L.p.	Nazwa serii	Nazwa próbki	Opis serii
1	2	3	4
1	KP-SN	KP-SN-1	Połączenie z wykorzystaniem kleju Kestopur 1 C 10
2		KP-SN-2	
3		KP-SN-3	
4		KP-SN-4	
5	TQ-SN	TQ-SN-1	Połączenie z wykorzystaniem kleju Technicqll D4 (R-161)
6		TQ-SN-2	
7		TQ-SN-3	
8		TQ-SN-4	
9	TB-SN	TB-SN-1	Połączenie z wykorzystaniem kleju Titebond III Ultimate Wood Glue
10		TB-SN-2	
11		TB-SN-3	

W jednej serii „KP-SN” zastosowano klej poliuretanowy KiilTO PRO Kestopur 1 C 10 [T1], dla którego w badaniach doraźnych skleiny potwierdzono wcześniej wymagane parametry skleiny. Wybór kleju był związany z założeniami klejenia konstrukcji drewnianych, tzn. z potwierdzeniem wytrzymałości skleiny większej niż wytrzymałość drewna. Jednocześnie, wymagana, normowa wartość charakterystyczna wytrzymałości drewna na ścinanie dla drewna klejonego na podstawie normy PN-EN 14080:2013-07 [N5] wynosi $f_{v,g,k} = 3,5$ MPa.

Ponadto, klej poliuretanowy KiilTO PRO Kestopur 1 C 10 [T1] charakteryzuje się niezbyt długim czasem wstępnego utwardzania – do ok. 30 minut, co jest korzystne z punktu widzenia wykonawstwa.

3. Badanie starzeniowe połączeń klejowych

3.1. Metodyka badania starzeniowego

Pośród próbek połączeń klejowych przeznaczonych do badań doraźnych [R1], część próbek połączeń klejowych, wymienionych w Tablicy 1, poddano ekspozycji w warunkach naturalnych. Próbki połączeń klejowych były przechowywane na zewnątrz i narażone na

bezpośrednie działanie czynników atmosferycznych: opadów, promieniowania UV i zmiennych temperatur. Próbkę połączeń klejowych przeznaczone do starzenia naturalnego wystawiono na działanie warunków atmosferycznych w cyklu 18-miesięcznym (od połowy marca 2022 r. do połowy września 2023 r.). Próbkę przez cały ten okres były wystawione na ekspozycję południową pod gołym niebem.

W celu określenia właściwości wytrzymałościowych skleiny w połączeniach klejowych, po zakończeniu ekspozycji próbek w warunkach naturalnych, próbki poddano badaniom wytrzymałościowym przy ściskaniu.

3.2. Badania wytrzymałościowe połączeń klejowych przy ściskaniu

Badania połączeń klejowych miały na celu określenie wytrzymałości skleiny na ścinanie w połączeniu próbek drewnianych pod wpływem sił ściskających działających wzdłuż włókien próbek drewna. Badanie to stanowi odzwierciedlenie rzeczywistej pracy połączeń klejowych pomiędzy krawędziakami w konstrukcji innowacyjnych, drewnianych ścian warstwowych, klejonych, zespolonych przewiązkami.

Zasadnicze badania serii połączeń klejowych były prowadzone w dwuzakresowej maszynie wytrzymałościowej do badań próbek na ściskanie „MEGA3 – 3000 kN – 100S” produkcji FORM+TEST Prüffsysteme. Badanie prowadzono na prasie o zakresie obciążenia do 100 kN.

Badanie prowadzono pod obciążeniem statycznym, doraźnym, do zniszczenia.

Obciążenie próbki było realizowane w układzie pionowym – siłą ściskającą próbkę przykładano przez przemieszczenie górnej głowicy prasy hydraulicznej. Siłę rejestrowano za pomocą aparatury pomiarowej.

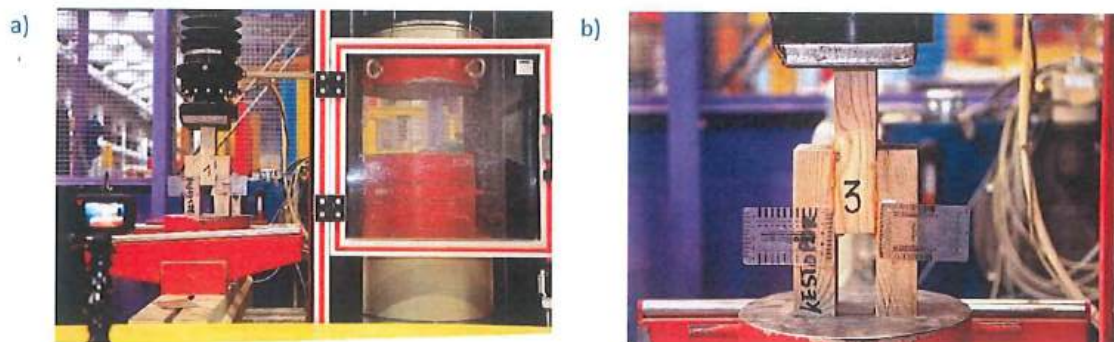
Stanowisko badawcze i aparaturę pomiarową pokazano na Rys. 2.

Obciążenie przykładano w sposób statyczny. Czas pojedynczego badania modelu próbnego połączenia klejowego wynosił ok. (300 ± 120) sekund. Wyniki rejestrowano co 0,2 sekundy.

Badanie prowadzono w hali laboratorium w temperaturze 18 ± 2 °C i przy wilgotności względnej 65 ± 5 %.

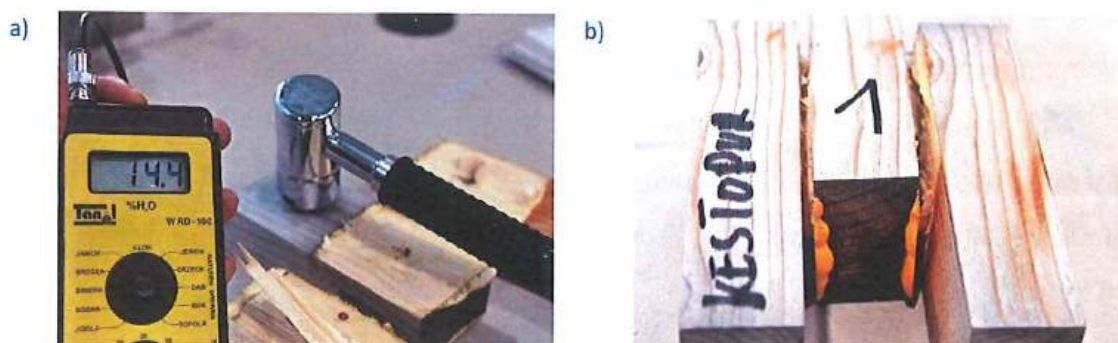
Pomierzona wilgotność drewna tuż przed badaniem wynosiła 15 ± 2 % (Rys. 3 a).

Próbki badawcze przygotowano i obciążono w taki sposób, aby wymusić zniszczenie przez ścinanie w połączeniu klejowym.



Rys. 2. Stanowisko badawcze: a) maszyna wytrzymałościowa, b) próbka w prasie

Podczas badania połączeń klejowych przy ściskaniu zaobserwowano dobrą pracę skleiny w przenoszeniu naprężeń i włączanie się do współpracy włókien drewna. Takie, typowe postaci zniszczenia w połączeniu klejowym w tym badaniu przedstawiono na Rys. 3 b.



Rys. 3. Badania połączeń klejowych na ścinanie (przy ściskaniu): a) pomiar wilgotności, b) postać zniszczenia jednej z próbek (KP-SN-1)

Wytrzymałość na ścinanie przy ściskaniu wzdłuż włókien $f_{v,g}$ obliczono ze wzoru:

$$f_{v,g} = \frac{F_{max}}{A}$$

gdzie:

F_{max} - siła niszcząca [N],

A – sumaryczne pole klejonych powierzchni [mm²].

Wyniki badań próbek przedstawiono zbiorczo w Tablicy 2.

W celu wyznaczenia wytrzymałości na ścinanie $f_{v,g}$ w połączeniach klejowych elementów drewnianych, za pomocą suwmiarki, wykonano dokładny obmiar powierzchni skleiny przed badaniem przyjmując w Tablicy 2, w kolumnach „4” i „5” wartości średnie [mm].

Tablica 2. Wyniki badań próbek połączeń klejowych przy ściskaniu

Lp.	Seria	Nr próbki	Uśrednione wymiary połączenia klejowego [mm]		Siła Fmax [N]	Wytrzymałość na ścinanie $f_{v,g}$ [MPa]	Postać zniszczenia
			Szerokość b	Długość l			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	KP-SN	KP-SN-1	70	80	51406	4,59	
2		KP-SN-2	70	80	27356	2,44	
3		KP-SN-3	70	80	60459	5,40	
4		KP-SN-4	70	80	50536	4,51	
5	TQ-SN	TQ-SN-1	70	80	64064	5,72	

Lp.	Seria	Nr próbki	Uśrednione wymiary połączenia klejowego [mm]		Siła F_{max} [N]	Wytrzymałość na ścinanie $f_{v,g}$ [MPa]	Postać zniszczenia
			Szerokość b	Długość l			
1	2	3	4	5	6	7	8
6		TQ-SN-2	70	80	56644	5,06	
7		TQ-SN-3	70	80	49907	4,46	
8		TQ-SN-4	70	80	65481	5,85	
9	TB-SN	TB-SN-1	70	80	46227	4,13	
10		TB-SN-2	70	80	42265	3,77	

Lp.	Seria	Nr próbki	Uśrednione wymiary połączenia klejowego [mm]		Siła F_{max} [N]	Wytrzymałość na ścinanie $f_{v,g}$ [MPa]	Postać zniszczenia
			Szerokość b	Długość l			
1	2	3	4	5	6	7	8
11		TB-SN-3	70	80	44198	3,95	

Zniszczenie na ścinanie przy ściskaniu na ogół przebiegało w drewnie. W badaniach, dla 10 z 11 próbek uzyskano wytrzymałości na ścinanie $f_{v,g}$ połączeń powyżej 3,5 MPa: od 3,77 MPa do 5,85 MPa. Rozrzut wartości wytrzymałości na ścinanie $f_{v,g}$ połączeń świadczy o wpływie niejednorodności i defektów w drewnie badanych próbek na wynik badania.

W przypadku jednej z próbek: „KP-SN-2” zniszczenie przebiegało zarówno w drewnie, jak i w warstwie kleju - przy wartości naprężenia ok. 2,44 MPa, czyli poniżej wytrzymałości drewna klejonego: 3,5 MPa. Ten wynik może świadczyć o niepełnym wypełnieniu spoiny klejem, ewentualnej nieosiowości obciążenia i wpływie mimośrodowo przyłożenia siły na wynik badania.

4. Podsumowanie wyników badań starzeniowych

Próbki połączeń klejowych przeznaczone do starzenia naturalnego wystawiono na działanie warunków atmosferycznych: opadów, promieniowania UV i zmiennych temperatur w cyklu 18-miesięcznym (od połowy marca 2022 r. do połowy września 2023 r.).

W celu określenia właściwości wytrzymałościowych skleiny w połączeniach klejowych, po zakończeniu ekspozycji próbek w warunkach naturalnych, próbki poddano badaniom wytrzymałościowym przy ściskaniu.

Za PN-EN 14080:2013-07 [N5] przyjęto, że wytrzymałość na ścinanie uzyskana w badaniach rozpoznawczych dla pojedynczej próby powinna wynosić powyżej 3,5 MPa, aby wytrzymałość skleiny była większa od wytrzymałości drewna na ścinanie.

Badania laboratoryjne połączeń krawędziaków drewnianych, wykonane z uwzględnieniem zapisów normowych: PN-EN 408+A1:2012 [N4], PN-EN 301:2017-11 [N6] i PN-EN 302-4:2013-06 [N10], obejmowały trzy serie próbek:

- seria „KP-SN”, z wykorzystaniem w połączeniu kleju poliuretanowego Kestopur 1 C 10 [T1],
- seria „TQ-SN”, z wykorzystaniem w połączeniu kleju poliuretanowego Technicqll D4 (R-161) [T2],
- seria „TB-SN”, z wykorzystaniem w połączeniu kleju dyspersyjnego na bazie PVAc Titebond III Ultimate Wood Glue [T3].

Zniszczenie na ścinanie przy ściskaniu na ogół przebiegało w drewnie. W badaniach, dla 10 z 11 próbek uzyskano wytrzymałości na ścinanie $f_{v,g}$ połączeń powyżej 3,5 MPa: od 3,77 MPa do 5,85 MPa (tylko w przypadku jednej z próbek: „KP-SN-2” zniszczenie przebiegało zarówno w drewnie, jak i w warstwie kleju - przy wartości naprężenia ok. 2,44 MPa).

W badaniach wytrzymałościowych połączeń klejonych „drewno – drewno” uzyskano wyniki wskazujące jednoznacznie, że wytrzymałość na ścinanie $f_{v,g}$ w połączeniach klejowych jest wystarczająca z uwagi na skleinę. O nośności połączenia klejowego decydowała bowiem wytrzymałość drewna na ścinanie.

Uzyskane wartości wytrzymałości na ścinanie $f_{v,g,k}$ w połączeniach klejowych były większe od wytrzymałości charakterystycznej na ścinanie drewna klejonego, która zgodnie z normą PN-EN 14080:2013-07 [N5] wynosi $f_{v,g,k} = 3,5$ MPa, co jest podstawą zastosowania połączeń klejonych w konstrukcjach drewnianych.