

dr inż. Marek Węglorz<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0001-7534-3639

dr inż. Janusz Broł<sup>1)\*</sup>

ORCID: 0000-0001-7413-1191

prof. dr hab. inż. Jan Kubica<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0003-3905-202X

mgr inż. Rafał Hadera<sup>2)</sup>

# Nośność na docisk w poprzek włókien w szkieletowych budynkach drewnianych

## *Load bearing capacity in compression perpendicular to the grain in timber frame buildings*

DOI: 10.15199/33.2020.11.02

**Streszczenie.** Podczas badań laboratoryjnych uzyskano mniejsze naprężenie dopuszczalne przy ściskaniu w poprzek włókien (docisku) wyznaczone na modelach rzeczywistych, niż wynikałoby to z obliczeń zgodnie z zaleceniami PN-EN 1995-1-1:2010. Dotyczy to wszystkich budynków szkieletowych, w których wykorzystywane jest drewno świerkowe (*Picea Abies*). Zaobserwowano także odmienny sposób zniszczenia z uwagi na docisk, niż wynika to z założeń normy, co do powierzchni współpracującej w przenoszeniu obciążeń ze słupków ściany na elementy podwalinowe.

**Słowa kluczowe:** drewniany budynek szkieletowy; panele ściennie; ściskanie w poprzek włókien; wytrzymałość na docisk.

**Abstract.** The lower values of the allowable compressive stresses in direction perpendicular to the grains (bearing strength of wood) have been obtained in the experimental tests on the real models than obtained theoretically in accordance with the PN-EN 1995-1-1:2010. This issue applies to all types of timber frame buildings where spruce wood (*Picea Abies*) is used. Different modes of failure due to compression perpendicular to the grain than it results from the assumptions of the standard, especially when taking into account the surface cooperating in the transfer of loads from the wall posts to the sill plates was also observed.

**Keywords:** timber frame building; wall panels; compression perpendicular to the grain, bearing strength.

Obecny wzrost zainteresowania drewnem jako materiałem konstrukcyjnym wynika m.in. z polityki zrównoważonego rozwoju. Drewno ma najmniejszy ślad węglowy w porównaniu z innymi, stosowanymi obecnie, materiałami budowlanymi. Jest jedynym z powszechnie znanych materiałów w pełni odtwarzalnym przez przyrodę. Jego masa przybywa bez ujemnych skutków dla środowiska i człowieka. Obecnie największym zainteresowaniem cieszy się drewniane budownictwo szkieletowe, w którym najczęściej wykorzystuje się drewno świerkowe.

Podczas badań realizowanych w Katedrze Inżynierii Budowlanej Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach we współpracy z firmą Wood Core House z Jaworzna (POIR. 01.01.01-00-1303/17 *Opracowanie innowacyjnej technologii systemu prefabrykacji drewnianych i drewnopochodnych elementów modułowych oraz innowacyjnego systemu budowy obiektów modułowych*), obejmujących

fragmenty ścian szkieletowych poddawanych obciążeniom pionowym (fotografia 1), zaobserwowano odmienny sposób zniszczenia panelu ściennego z uwagi na docisk słupka do belki podwalinowej, niż wynikałoby to z założeń PN-EN 1995-1-1:2010 [6]. Zniszczenie następowało wcześniej (przy mniejszej wartości naprężenia), niż wskazywały obliczenia normowe [6] z uwzględnieniem efektywnej powierzchni docisku. Zgodnie z aktualną wersją tej normy, w wyznaczeniu nośności z uwagi na docisk prostopadłe do włókien, przyjmować należy efektywne pole powierzchni docisku  $A_{ep}$ , które wyznacza się z uwzględnieniem rzeczywistej powierzchni kontaktu, obustronnie powiększonej wzdłuż włókien o 30 mm lub jednostronnie o 30 mm, gdy podwalina wystaje tylko z jednej strony poza słupek. Model obliczeniowy przyjęty w normie [6] powstał na podstawie badań nośności na docisk [5] i późniejszej modyfikacji tego modelu [1].

W przeprowadzonych badaniach zaobserwowano brak współpracy powierzchni powiększonej o 30 mm w przenoszeniu naprężeń ściskających prostopadłych do włókien. Podobne



Fot. 1. Badany panel ścienny  
Photo 1. Tested wall panel

wnioski przedstawiono w [3], a w przypadku drewna świerkowego zjawisko to zostało zbadane zgodnie z normą [7] przez Leijtena [5]. W publikacji tej zwrócono uwagę na niedoskonałości dotychczasowego podejścia normowego [6] oraz dokładność modelu Van der Puta [8], zakładającego rozchodzenie się

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa

<sup>2)</sup> Wood Core House Sp. z o.o.

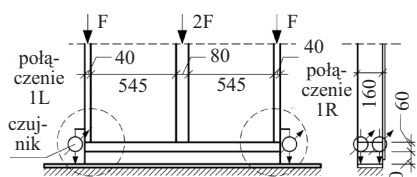
\* Adres do korespondencji:

Janusz.Brol@polsl.pl

naprężeń docisku w drewnie, tak jak w materiale izotropowym w proporcji 1 : 1 (pod kątem 45°) w przypadku odkształceń plastycznych i 1 : 1,5 (pod kątem 34°) przy dużych odkształceniach (ok. 10%) i tym samym wzięcie pod uwagę w modelu obliczeniowym zmian wartości naprężeń docisku na grubości elementu.

Do badań na Politechnice Śląskiej wykorzystano panele ściennie w skali naturalnej, wykonane z drewna świerkowego (*Picea Abies*) klasy C24, łączonego na długości za pomocą złączy klejowych. Panele ściennie zostały jednostronnie usztywnione płytami OSB lub gipsowo-włóknowymi o grubości 15 mm, mocowanymi do konstrukcji zszywkami. Podczas badań temperatura wynosiła ok. 22°C, wilgotność względna powietrza ok. 40%, a wilgotność drewna we wszystkich seriach 10 ÷ 12%. Obciążenie pionowe przykładano w sposób statyczny. Czas badania panelu wynosił 5 min ±120 s. Do pomiaru przemieszczeń wykorzystano czujniki indukcyjne i system optyczno-pomiarowy ARAMIS DIC.

W artykule ograniczono się do analizy zaobserwowanej postaci zniszczenia połączeń słupków z belkami podwalinowymi paneli ściennych, zamocowanymi do podwaliny (rysunek 1).

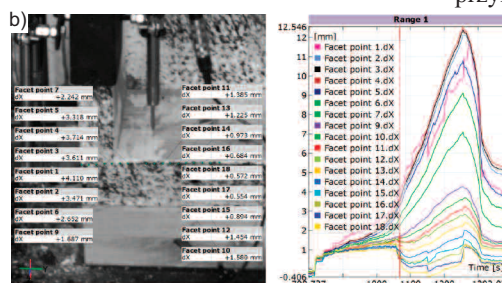


Rys. 1. Połączenia poddane analizie  
Fig. 1. Analyzed connections

## Analiza wyników badań

W badaniach szczególnie silnie ujawniły się efekty lokalnych naprężeń i deformacji związane ze ściskaniem w poprzek włókien w połączeniu słupków z belkami podwalinowymi paneli ściennych. Przyjęty schemat badawczy odzwierciedlał rzeczywistą pracę drewnianych elementów w konstrukcji budynku (z uwzględnieniem ich współpracy z podwaliną). Należy podkreślić, że kierunek włókien w słupkach był zawsze prostopadły do kierunku włókien w belkach podwalinowych paneli ściennych i w podwalinie. Naprężenia docisku w poprzek włókien wystąpiły zarówno

w połączeniu górnej, jak i dolnej belki podwalinowej panelu ściennego ze słupkiem. W analizie docisku skupiono się jednak na połączeniu dolnej belki, z uwagi na wyeliminowanie dodatkowych efektów związanych ze zginaniem przez bezpośrednie podparcie belki podwalinowej panelu ściennego w sposób ciągły przez podwalinę na podłożu. Efekt docisku był jedną z głównych postaci zniszczenia. Uzyskano duże naprężenia w połączeniach na docisk w poprzek włókien słupków z belką panelu ściennego i stwierdzono, że połączenia te charakteryzowały się dużą ciągliwością. Zaobserwowano też znaczne odkształcenia włókien w belkach paneli prowadzące w konsekwencji do zniszczenia w połączeniu słupków z belkami podwalinowymi panelu. Postacie zniszczenia połączeń słupków z belkami podwalinowymi pokazano na fotografii 2.

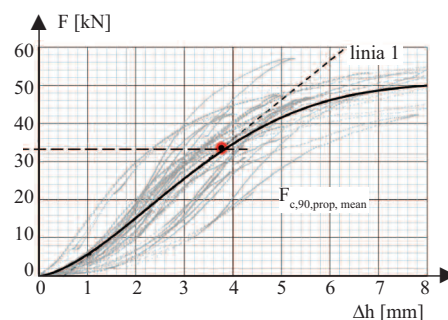


Fot. 2. Typowa postać zniszczenia w połączeniu słupka z belką podwalinową: a) widok połączenia; b) odzworowanie przemieszczeń w systemie optyczno-pomiarowym ARAMIS DIC

Photo 2. Typical mode of failure in the post and the sill-plate: a) joint view; b) deformations image in ARAMIS digital correlation system

Stwierdzono duże zróżnicowanie przemieszczeń między powierzchnią kontaktu słupka z belką podwalinową i w belce podwalinowej panelu ściennego w bezpośrednim sąsiedztwie powierzchni kontaktu. Ponadto, we wszystkich zbadanych połączeniach następowało, w chwili zniszczenia (w momencie przekroczenia wytrzymałości drewna w poprzek włókien), przecięcie włókien na krawędzi kontaktu słup-

ka z belką panelu ściennego. Nie zaobserwowano efektu wciągnięcia do współpracy powierzchni drewna w bezpośrednim sąsiedztwie rzeczywistego pola docisku (oparcia słupka na belce podwalinowej). Wykresy zależności siła obciążająca – przemieszczenie w połączeniu słupka skrajnego z podwaliną przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Zależność siła – przemieszczenie w połączeniu słupka z belką podwalinową  
Fig. 2. Force – displacement plots in the joint of the post with the sill plate

W wyniku naprężeń działających w poprzek włókien, na początku odkształcenie drewna miało charakter sprężysty (linia 1 na rysunku 2). Przy dalszym zwiększeniu obciążenia, tuż przed zniszczeniem, następował gwałtowny przyrost przemieszczeń i włókna ulegały

przecięciu na krawędzi styku słupka z podwaliną. Nośność na docisk w połączeniu wyznaczono, wykorzystując granicę proporcjonalności  $F_{c,90,prop}$  [2]. Wyniki badań zestawiono w tabeli.

Teoretyczną wartość nośności na docisk w połączeniu słupków skrajnych z belką panelu ściennego wyznaczono zgodnie z normą PN-EN 1995-1-1:2010 [6] przy założeniu wytrzymałości drewna klasy C24 równej  $f_{c,90,k} = 2,50$  MPa i z uwzględnieniem tzw. efektywnej powierzchni docisku jako:

$$A_{ef} = (1 + 30)b = (40 + 30) \cdot 160 = 11200 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1)$$

$$F_{c,90,k} = k_{c,90} \cdot f_{c,90,k} \cdot A_{ef} = 1,25 \cdot 2,5 \cdot 11200 = 35000 \text{ [N]} = 35,0 \text{ [kN]} \quad (2)$$

$$\text{przy założeniu: } k_{c,90} = 1,25 \quad (3)$$

gdzie:

$A_{ef}$  – efektywny pole docisku;  $k_{c,90}$  – współczynnik uwzględniający rozkład obciążenia, możliwość powstania pęknięć oraz stopień odkształcenia przy docisku;  $f_{c,90,k}$  – charakterystyczna wytrzymałość na docisk w poprzek włókien. ▶



