

# Wpływ obciążenia podwieszonego za pomocą łączników jednostronnych na nośność płyt warstwowych



dr inż.  
**ROBERT STUDZIŃSKI**  
Politechnika Poznańska  
Instytut Konstrukcji Budowlanych,  
ORCID:0000-0002-0906-8701



mgr inż.  
**KATARZYNA CIESELCHYK**  
Politechnika Poznańska  
Instytut Konstrukcji Budowlanych,  
ORCID:0000-0001-7233-1659

W artykule zaprezentowano wyniki badań doświadczalnych przedstawiające wpływ podwieszenia obciążenia zewnętrznego do rozciąganej okładziny płyty warstwowej na nośność tych płyt. Podwieszenie zostało zrealizowane za pomocą łączników jednostronnych (ang. *blind rivets*), wykorzystano w tym celu nity rozchylne BulbTite.

Płyty warstwowe są gotowymi elementami obudowy obiektów budowlanych o przeznaczeniu przemysłowym, usługowym, usługowo-handlowym i nie tylko. Składają się z cienkich okładzin i grubego rdzenia. Okładziny wykonane są z materiału o wysokiej wytrzymałości (stal, aluminium), a rdzeń z materiału o niskiej wytrzymałości, lecz bardzo dobrej termoizolacyjności (pianka poliuretanowa, wełna mineralna, styropian). Podstawową funkcją płyt warstwowych jest przenoszenie obciążenia zewnętrznego na konstrukcje wsporcze oraz zapewnienie odpowiedniej izolacyjności termicznej obiektowi budowlanemu. W przypadku obciążeń są to zazwyczaj oddziaływania klimatyczne ustalone zgodnie z Eurokodem 1 [1, 2]. Wymagany poziom termoizolacyjności ustalany jest w oparciu o rozporządzenie Ministra Inwestycji i Rozwoju w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [3].

Płyty warstwowe mocowane są do konstrukcji wsporczej za pomocą łączników przelotowych. Z punktu widzenia termoizolacyjności obiektu takie połączenie wprowadza punktowy mostek termiczny. W okresie eksploatacji obiektu budowlanego, jak również na etapie projektowania, do producentów płyt warstwowych kierowane są pytania dotyczące możliwości zawieszenia na warstwowej płycie ściennej lub podwieszenia do warstwowej płyty dachowej/stropowej dodatkowego obciążenia bez konieczności stosowania łączników przelotowych. Wynika to z faktu, że zastosowanie łączników

przelotowych pociąga za sobą konieczność wprowadzenia dodatkowych elementów stalowej podkonstrukcji oraz wprowadza punktowe mostki termiczne. W takim przypadku idealnym rozwiązaniem wydaje się być zastosowanie łączników nieprzelotowych, ang. *blind rivets*. Połączenia te nie wymagają bowiem dodatkowej konstrukcji wsporczej ani nie tworzą punktowych mostków termicznych. Niestety aktualny brak wytycznych normowych dotyczący tego typu połączeń stanowi istotne ograniczenie w ich stosowaniu. Ponadto w literaturze przedmiotu poświęcono tego typu połączeniom niewiele uwagi. Przykładowo w pracy [4, 5] przedstawiono nośność połączenia jednostronnego poddanego osiowemu rozciąganiu. W wyniku przeprowadzonych badań w obu pracach przedstawiono wpływ wartości sił niszczących połączeń na łączniki nieprzelotowe. Temat połączeń jednostronnych poddanych obciążeniu statycznemu i zmęczeniowemu został opisany w pracy [6].

## Sformułowanie problemu

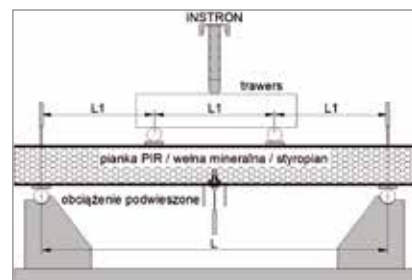
Celem przeprowadzonych badań doświadczalnych było określenie wpływu dodatkowego obciążenia, zawieszono do dolnej okładziny płyty warstwowej za pomocą łączników nieprzelotowych, na nośność płyty warstwowej. Badania przeprowadzono w oparciu o schemat belki czteropunktowo zginanej o rozpiętości  $L = 900$  mm ( $L_1 = 300$  mm), patrz: rys. 1. W trakcie badania mierzono siłę za pomocą zewnętrznego przetwornika

siły U93 HBM oraz przemieszczenia w czterech punktach płyty warstwowej, w tym:

- przemieszczenie okładziny górnej na obu podporach reprezentujące wielkość zgniecenia płyty warstwowej na podporze,
- przemieszczenie dolnej okładziny w środku rozpiętości belki reprezentujące faktyczne ugięcie płyty warstwowej,
- przemieszczenie tłoka maszyny wymuszającego obciążenie.

W badaniu doświadczalnym przyjęto sterowanie przemieszczeniem z prędkością wymuszenia 5 mm/min. Częstota zapisu danych wynosiła 1Hz (jeden zapis na jedną sekundę badania). Czujniki przemieszczeń były zerowane po ułożeniu trawersu i po podwieszeniu zaplanowanego obciążenia.

Do realizacji podwieszenia zastosowano nity rozchylne BulbTite pokazane schematycznie na rys. 2. W badaniu wykorzystano



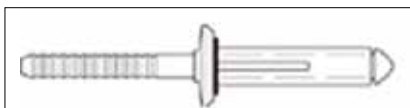
Rysunek 1. Schemat belki czteropunktowo zginanej z możliwością podwieszenia obciążenia za pomocą nity BulbTite



Rys. arch. Aurbow

Rysunek 3. Przykładowe sposoby realizacji obciążenia podwieszono do rozciąganej okładziny elementu warstwowego za pomocą nitów BulbTite typ RV 6604-6-4W: a) 0,05 kN / rdzeń styropianowy, b) 0,20 kN / rdzeń z wełny mineralnej, c) 0,30 kN / rdzeń z pianki poliuretanowej

nity o nominalnej średnicy 5,2 mm (typ RV 6604-6-4W), które wykonane są z następujących stopów aluminium: trzon AL. Mg 5, łeb AL. Cu Mg 1. Literka W w opisie nita oznacza występowanie uszczelki EPDM.



Rysunek 2. Nit rozchylny BulbTiteRV 6604-6-4W

Badanie laboratoryjne zostało zróżnicowane ze względu na rodzaj materiału rdzenia (pianka poliuretanowa – PIR, wełna mineralna – MW, styropian – ES) oraz wielkość obciążenia podwieszono (patrz: rys. 3) W tabeli 1. zestawiono założone poziomy obciążenia podwieszono P.

Na kolejnych fotografiach przedstawiono sposoby realizacji wybranych poziomów podwieszono do okładziny rozciąganej belki warstwowej.

### Wyniki badań doświadczalnych

W wyniku przeprowadzonych badań czteropunktowego zginania belek warstwowych otrzymano wartości sił niszczących  $F_u$ , sztywności sieczne  $k_{sec}$  oraz określono mechanizmy zniszczenia dla zadanych poziomów obciążenia podwieszono. Przez siłę niszczącą ( $F_u$ ) rozumie się największą wartość obciążenia, przy którym następuje zniszczenie próbki. Z kolei sztywność sieczna definiowana jest jako stosunek siły niszczącej do przemieszczenia przy zniszczeniu. Analiza otrzymanych wyników pozwoli odpowiedzieć na pytanie, czy podwieszono obciążenia do dolnej rozciąganej okładziny belki warstwowej redukuje jej nośność. W tym celu wprowadzony został parametr  $\Delta R$  wyrażony równaniem (1)

$$\Delta R_i = F_{u,0} - (F_{u,i} + P_i), \quad (1)$$

gdzie  $F_{u,0}$  reprezentuje nośność graniczną belki warstwowej bez obciążenia podwieszono,  $F_{u,i}$  reprezentuje nośność graniczną belki warstwowej z i-tym podwieszono obciążeniem, a  $P_i$  odpowiada wartości i-tego obciążenia podwieszono.

W związku z tak zdefiniowanym parametrem możemy wyróżnić trzy następujące sytuacje. Pierwsza sytuacja, kiedy podwieszono nie wpływa na nośność płyty warstwowej i parametr  $\Delta R$  przyjmuje wartość zerową ( $\Delta R = 0,0$ ). Następnie druga i trzecia sytuacja, kiedy podwieszono odpowiednio

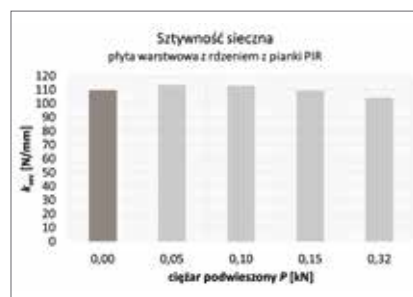
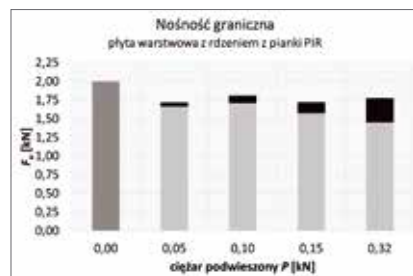
obniża nośność płyty warstwowej, a parametr  $\Delta R$  przyjmuje wartości większe od zera ( $\Delta R > 0,0$ ) i zwiększa nośność płyty warstwowej, a parametr  $\Delta R$  przyjmuje wartości mniejsze od zera ( $\Delta R < 0,0$ ).

Z uwagi na różne właściwości wytrzymałościowe rozpatrywanych materiałów rdzenia (PIR, MW, ES) analiza ilościowa otrzymanych wyników dla elementów warstwowych z różnym rdzeniem będzie przeprowadzona niezależnie. Na zamieszczonych w dalszej części artykułu wykresach kolumnowych do opisu otrzymanych wyników przyjęto następującą konwencję. Na osi poziomej przedstawione są wartości obciążenia podwieszono P, a na osi pionowej wartości siły niszczącej  $F_u$  lub sztywności siecznej  $k_{sec}$ . Wyniki dla elementu warstwowego bez obciążenia podwieszono ( $P_i = 0,00$  kN) reprezentuje ciemnoszary słup, podczas gdy jasnoszare słupki reprezentują wyniki dla kolejnych poziomów obciążenia podwieszono. Czarne słupki przedstawiają wartości obciążenia podwieszono P.

### Elementy warstwowe z rdzeniem z pianki poliuretanowej

Na rysunku 4. przedstawiono za pomocą wykresu kolumnowego wyniki badań elementów warstwowych z rdzeniem z pianki PIR. Wraz ze wzrostem wartości obciążenia podwieszono odnotowano stopniowy spadek nośności granicznej belki (wyrażony przez spadek wartości siły niszczącej  $F_u$ ). Należy jednak zwrócić uwagę, że uwzględniając wartość obciążenia zewnętrznego P, spadek nośności jest jednakowy dla wszystkich poziomów rozpatrywanego obciążenia podwieszono i wynosi ~14%. Sztywność sieczna ( $k_{sec}$ ) w tym przypadku niezależnie od poziomu obciążenia podwieszono jest w zasadzie jednakowa i nie ulega obniżeniu na skutek podwieszono dodatkowego obciążenia do okładziny rozciąganej.

Mechanizmy zniszczenia zaobserwowane w przypadku belek warstwowych z rdzeniem z pianki PIR to wyboczenie okładziny ściskanej lub ścięcie rdzenia. Mechanizmy te są



Rysunek 4. Nośność graniczna i sztywność sieczna elementów warstwowych z rdzeniem z pianki PIR



Rysunek 5. Mechanizmy zniszczenia elementów warstwowych z rdzeniem z pianki PIR: a) ścięcie rdzenia, b) wyboczenie okładziny ściskanej

przedstawione odpowiednio na rys. 5a i rys. 5b. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że dominującym mechanizmem zniszczenia było wyboczenie okładziny ściskanej, jednakże to, czy wystąpi ścięcie, czy wyboczenie, nie było zdeterminowane występowaniem lub nie obciążenia podwieszono.

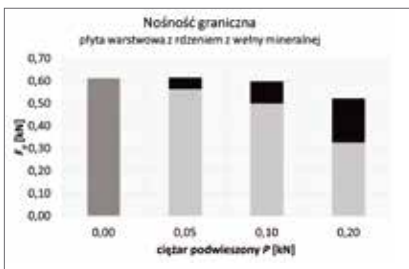
Tablica 1. Poziomy obciążenia podwieszono P w [kN]

Lp.	Nazwa przypadku	Poziomy obciążenia podwieszono P w [kN]				
		0,00	0,05	0,10	0,15	0,20
1	PIR	TAK	TAK	TAK	TAK	-
2	MW	TAK	TAK	TAK	-	TAK
3	ES	TAK	TAK	TAK	-	TAK

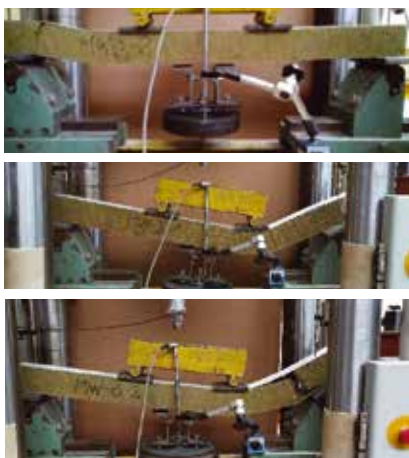
Rys. arch. Autorów



Rysunek 6. Odsłonięcie dolnej okładziny od rdzenia z wełny mineralnej przy obciążeniu



Rysunek 7. Nośność graniczna i sztywność sieczna elementów warstwowych z rdzeniem z pianki wełny mineralnej



Rysunek 8. Zginana czteropunktowo belka warstwowa z rdzenia z wełny mineralnej: a) ścięcie rdzenia, b) poślizg okładziny na podporze, b), c) ścięcie rdzenia na łączeniu lameli.

### Elementy warstwowe z rdzeniem z wełny mineralnej

Zgodnie z tabelą 1. zaproponowano trzy poziome obciążenia podwieszonych dla belek warstwowych z rdzeniem z wełny mineralnej. Maksymalną wartość tego obciążenia ograniczono do 0,20 kN. Próba podwieszenia obciążenia o wartości 0,32 kN spowodowała odsłonięcie okładziny od rdzenia (patrz: rys. 6.).

Wykres kolumnowy na rys. 7. pokazuje, że w przypadku belek warstwowych z rdzeniem z wełny mineralnej spadek nośności spowodowany obciążeniem pod-

wieszonym jest procentowo większy niż w przypadku belek z rdzeniem z pianką PIR. Związane jest to z tym, że siła graniczna elementu warstwowego z rdzeniem z wełny mineralnej bez podwieszonych obciążenia jest prawie 3-krotnie niższa od nośności elementu warstwowego z rdzeniem z pianki PIR. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę, że wprowadzony parametr R dla obciążenia podwieszonych 0,05 kN i 0,10 kN przyjmował wartość 0,00. Z kolei dla obciążenia podwieszonych 0,20 kN parametr ten przyjął wartość wyraźnie większą od zera (obliczony spadek nośności wyniósł 17% w stosunku do belki bez obciążenia podwieszonych). W przypadku sztywności siecznej odnotowano, że dla obciążenia podwieszonych o wartości 0,00 kN i 0,10 kN jest ona o 45% większa od sztywności siecznej dla obciążenia podwieszonych o wartości 0,05 kN i 0,20 kN. Istotna różnica sztywności wynika m.in. z włóknistej struktury wełny mineralnej. Na niekorzyść „mechaniczną” wełny mineralnej wpływa dodatkowo jej lamelowa budowa. W rezultacie prowadzi to do powstania różnych mechanizmów zniszczenia niezależnych od poziomu obciążenia podwieszonych. Przykładowe mechanizmy zniszczenia belek warstwowych z rdzeniem z wełny mineralnej przedstawiono na rys. 8. Zauważono, że w przypadku kiedy o nośności decydowało ścięcie rdzenia (patrz: rys. 8a i 8c), sztywność sieczna  $k_{sec}$  była niższa niż w przypadku, kiedy o zniszczeniu decydował poślizg okładziny górnej na podporze (rys. 8b).

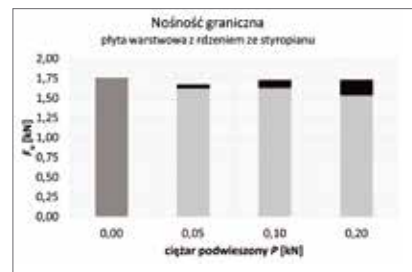
### Elementy warstwowe z rdzeniem ze styropianu

W przypadku belek warstwowych z rdzeniem ze styropianu zaobserwowano, że dla wszystkich analizowanych poziomów obciążenia podwieszonych spadek nośności jest nieznaczny, tj. 5%, 2% i 1% odpowiednio dla obciążenia o wartości 0,05 kN, 0,10 kN i 0,20 kN. Natomiast istotnej różnicy uległa sztywność sieczna  $k_{sec}$  tych elementów warstwowych (patrz: rys. 9b).

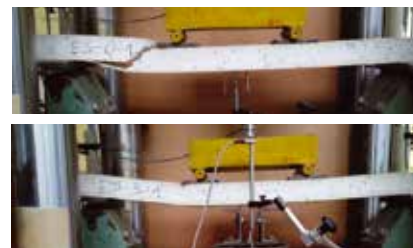
Podobnie jak w przypadku pozostałych materiałów rdzenia, zniszczenie badanych elementów następowało na skutek ścięcia rdzenia (rys. 10a) lub pomarszczenia okładziny stalowej w miejscu przekazywania obciążenia przez trawers (rys. 10b). Zniszczenie pomarszczenia okładziny ściskanej miało inną postać niż w przypadku okładziny ściskanej w belkach z rdzeniem z pianki PIR.

### Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki oryginalnych badań doświadczalnych, których celem było określenie wpływu obciążenia podwieszonych do okładziny rozciąganej na nośność elementów warstwowych. Przeanalizowane warianty rdzenia i poziomów obciążenia



Rysunek 9. Nośność graniczna i sztywność sieczna elementów warstwowych z rdzeniem ze styropianu



Rysunek 10. Mechanizmy zniszczenia belek warstwowych z rdzeniem ze styropianu: a) ścięcie rdzenia, b) pomarszczenie okładziny pod siłą skupioną

podwieszonych pozwalają na sformułowanie wniosków jakościowych.

Po pierwsze: dodatkowe obciążenie podwieszonych (niezależnie od jego wielkości) nie wpływa na mechanizm zniszczenia badanych elementów. Zależność ta potwierdziła się dla wszystkich rozpatrywanych materiałów rdzenia (PIR, MW, ES).

Po drugie: wpływ obciążenia podwieszonych na nośność badanych elementów warstwowych uzależniony jest od rodzaju materiału rdzenia. W przypadku rdzenia z pianki PIR spadek nośności okazał się być niezależny od poziomu obciążenia podwieszonych i wyniósł 17%. W przypadku rdzenia z wełny mineralnej i styropianu obciążenie podwieszonych do wartości 0,10 kN w zasadzie nie wpłynęło na nośność badanych elementów. Z kolei obciążenie 0,20 kN spowodowało spadek nośności tylko elementów warstwowych z rdzeniem ze styropianu.

Po trzecie: badany aspekt sztywności siecznej analizowanych elementów wykazał, że belki warstwowe z rdzeniem z pianki PIR nie zmieniają swojej sztywności ze względu na dodatkowe obciążenie podwieszonych. W przypadku belek z rdzeniem z weł-

Rys. arch. Autorów



ny mineralnej różnice w ich sztywnościach siecznych nie wynikały z faktu zawieszenia obciążenia, lecz z niejednorodnej struktury wełny mineralnej. Natomiast spadek sztywności, który postępował wraz ze zwiększaniem obciążeniem podwieszonym, został zaobserwowany podczas badania belek z rdzeniem ze styropianu.

## Finansowanie

Badania zostały sfinansowane z grantu NCN MINIATURA2 UMO-2018/02/X/ST8/02657 (01/11/PNCN/2657).

## Literatura:

- [1] PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Obciążenie śniegiem.
- [2] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1. Oddziaływanie na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływanie ogólne. Oddziaływanie wiatru.
- [3] Dz.U. z 7 czerwca 2019 poz. 1065 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [4] B., Gosowski, K., Gajewski, M., Gosowski (2004), Badania połączeń elementów stalowych na stalowe nity jednostronne, „Inżynieria i Budownictwo”, 11, s. 615-619.
- [5] B., Gosowski (2016), Problemy projektowe i wykonawcze związane z obudową z płyt warstwowych. Cz. 2. Badanie nośności połączeń paneli warstwowych z konstrukcją wsporczą, „Izolacje”, 4, s. 60-67.
- [6] D., Biccari, K., Genovese, C., Pappalettere (2001), Static and Fatigue Behaviour of Sandwich Composite Panels Joined by Blind Fasteners, „Key Engineering Materials”, 221-222, s. 61-70, doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.221-222.61.

DOI: 10.5604/01.3001.0013.8484

## PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Studziniński Robert, Ciesielczyk Katarzyna, 2020, Wpływ obciążenia podwieszono-go za pomocą łączników jednostronnych na nośność płyt warstwowych, „Builder” 03 (272). DOI: 10.5604/01.3001.0013.8484

**Streszczenie:** W artykule zostały omówione wyniki badań doświadczalnych przedstawiające wpływ podwieszenia obciążenia zewnętrznego do rozciąganej okładziny płyty warstwowej na nośność tych płyt. Podwieszenie zostało zrealizowane za pomocą łączników jednostronnych (ang. *blind rivets*). W tym celu zostały wykorzystane nity rozchylne BulbTite. W praktyce połączenie z wykorzystaniem łączników jednostronnych jest połączeniem nieprzelotowym, tj. nie wymaga stosowania podkonstrukcji i nie tworzy punktowych mostków termicznych. W badaniach posłużono się schematem belki czteropunktowo zginanej. Badanie obejmowało kilka poziomów obciążenia podwieszonoego oraz jego wpływ na belki warstwowe z rdzeniem wykonanym z pianki poliuretanowej, z wełny mineralnej i styropianu. W wyniku przeprowadzonych badań określono siły niszczące, sztywności sieczne i mechanizmy zniszczenia badanych elementów warstwowych.

**Słowa kluczowe:** płyty warstwowe, pianka poliuretanowa, wełna mineralna, styropian, nity BulbTite, czteropunktowe zginanie, mechanizmy zniszczenia

**Abstract:** Influence of suspended loads using blind rivets on the load capacity of the sandwich panels

The article discusses the results of experimental tests presented the impact of suspended loads to the tensioned sandwich panel facing on the load capacity of these panels. The blind rivets were used to suspend the loads. For this purpose, BulbTite rivets were used. In practice, this type of connection is called the blind connection i.e. it does not require the use of a secondary structure and does not create point thermal bridges. In the research, the four-point bending static scheme was used. The study included several levels of suspended loads and its effect on sandwich beams with a core made of polyurethane foam, mineral wool, and styrofoam. As a result of the tests, the ultimate loads, the secant stiffnesses, and the failure mechanisms of the tested sandwich elements were determined.

**Keywords:** sandwich panels, polyurethane foam, mineral wool, styrofoam, BulbTite rivets, four-point bending, failure mechanisms