

Bronisław GOSOWSKI<sup>1</sup>  
Piotr ORGANEK<sup>2</sup>  
Michał REDECKI<sup>3</sup>

## NOŚNOŚĆ ZAKRYTEGO POŁĄCZENIA PŁYT WARSTWOWYCH Z RYGLAMI ŚCIENNYMI

W artykule opisano przebieg badań doświadczalnych zakrytego, nietypowego połączenia płyt warstwowych z ryglami ściennymi. Potrzeba przeprowadzenia badań wynikała z uszkodzeń płyt warstwowych hali magazynowej, które polegały na wybrzuszeniach i pofalowanych płyt w miejscach łączenia ich z ryglami. W celu określenia przyczyn powstałych uszkodzeń przeprowadzono kompleksowe badania nośności samego połączenia, badania właściwości rdzenia i jego przyczepności do okładzin, badania beleczek warstwowych na zginanie oraz badania materiałowe płyt okładzin. Badania połączenia prowadzono na specjalnie przygotowanym do tego celu stanowisku. W trakcie eksperymentu obserwowano zachowanie się połączenia oraz rejestrowano przemieszczenia samych płyt. Rezultatem badań jest zidentyfikowanie mechanizmu zniszczenia połączenia oraz określenie dla niego granicznej wartości obciążenia. Określono również przyczynę nadmiernej deformacji i odkształceń płyty w obrębie połączenia. Referat zakończono wnioskami o charakterze praktycznym.

**Słowa kluczowe:** konstrukcja stalowa, lekka obudowa ścian, płyta warstwowa, właściwości płyty, połączenie zakryte, badania nośności, awaria

### 1. Wstęp

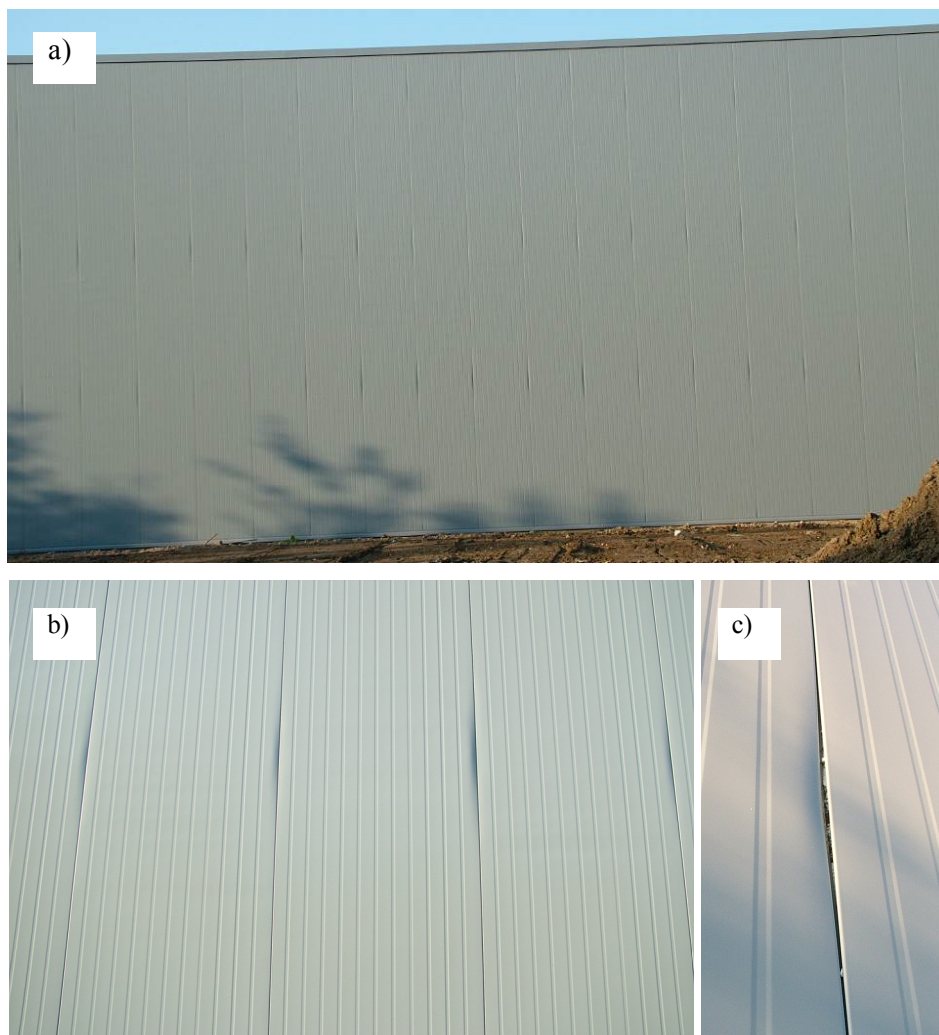
Potrzeba przeprowadzenia kompleksowych badań doświadczalnych nośności zakrytego połączenia płyt warstwowych wynikała z uszkodzeń obudowy hali magazynowej zlokalizowanej pod Warszawą. Defekty płyt polegały na lokalnych deformacjach, pofalowaniach i wgnieceniach krawędzi w pobliżu zakrytego łącznika (por. rys. 1). Były one objawem stanu przedawaryjnego.

---

<sup>1</sup> prof. dr hab. inż. Bronisław Gosowski, Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, [bronslaw.gosowski@pwr.edu.pl](mailto:bronslaw.gosowski@pwr.edu.pl).

<sup>2</sup> mgr inż. Piotr Organek, Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, [piotr.organek@pwr.edu.pl](mailto:piotr.organek@pwr.edu.pl).

<sup>3</sup> Autor do korespondencji: mgr inż. Michał Redeki, Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, [michal.redecki@pwr.edu.pl](mailto:michal.redecki@pwr.edu.pl).

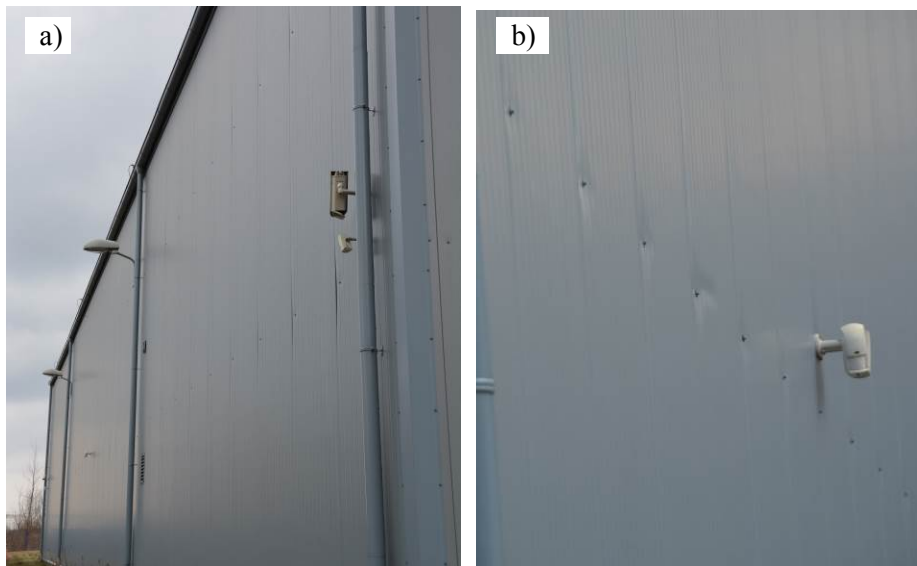


Rys. 1. Fragment ściany południowej z płyt warstwowych z widocznymi deformacjami: a) widok ogólny, b) zbliżenie, c) szczegół

Fig. 1. A piece of southern wall made of sandwich panels with visible deformation: a) overall view, b) close-up, c) detail

Dlatego w celu wyjaśnienia przyczyn powstałych uszkodzeń zaproponowano badania doświadczalne. Program badań obejmował nie tylko badanie nośności połączeń, ale także określenie właściwości styropianowego rdzenia m.in. gęstości, wytrzymałości na ściskanie, rozciąganie i ścinanie, modułów sprężystości podłużnej i poprzecznej, badania materiałowe okładzin płyt warstwowych.

Stan techniczny hali zilustrowano na rys., 1 i 2. Ze względu na zastrzeżenia inwestora generalny wykonawca wymienił płyty na inne, które zostały połączone z ryglami ściennymi bezpośrednio za pomocą dwóch wkrętów samowiercących na szerokości płyty. Pozostawiono płyty z połączeniem zakrytym na jednej ze ścian, przy czym dokonano niefortunnego wzmocnienia połączeń płyt warstwowych na podporach pośrednich, za pomocą dodatkowych wkrętów samowiercących zlokalizowanych obok połączeń zakrytych (por. rys. 2). W efekcie, ze względu na znaczną podatność połączeń zakrytych, to dodatkowe wkręty przejęły ich rolę. Nie miało to więc wpływu na zwiększenie liczby łączników na szerokości płyt, a doprowadziło do widocznych deformacji okładziny zewnętrznej w strefie dodatkowego łącznika. Najbardziej widoczne deformacje znajdują się w strefach przykrawędziowych ścian, gdzie występują intensywne pofalowania okładziny zewnętrznej płyt warstwowych w strefach połączeń zakrytych.



Rys. 2. Widok elewacji zachodniej budynku ze wzmocnionymi połączeniami zakrytymi, za pomocą dodatkowych wkrętów samowiercących: a) widok ogólny, b) zbliżenie na łby

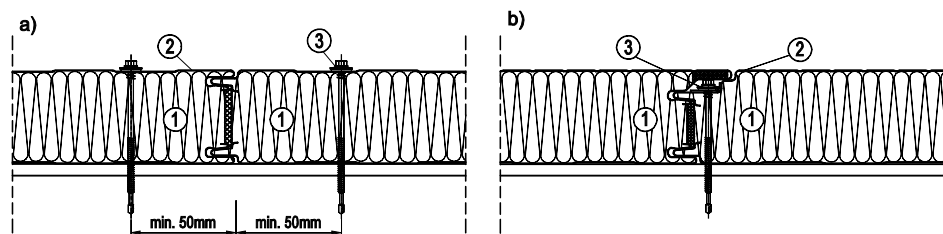
Fig. 2. View on the concealed joint from the western elevation of the building with reinforcement by additional self-drilling screws: a) overall view, b) close-up on heads

## 2. Sposoby łączenia płyt warstwowych z ryglami

Ścienne płyty warstwowe można mocować do konstrukcji wsporczej za pomocą wkrętów samowiercących lub samogwintujących dostosowanych swą długością do grubości płyty. Podczas wkręcania łączników należy używać

specjalistycznych elektronarzędzi – wkrętkarki ze specjalną głowicą umożliwiającą odpowiednie prowadzenie łącznika oraz ogranicznik głębokości wkręcania. Siła docisku łącznika powinna być dobrana tak, aby nie zdeformować podkładki pod łbem.

Klasyczny sposób łączenia płyt warstwowych polega na zastosowaniu dwóch łączników na szerokości płyty (por. rys. 3a) i dokręceniu ich do rygła po obu stronach zamka. Często jednak, głównie ze względów estetycznych, inwestorowi zależy na ukryciu łączników. Wymaga to skonstruowania odpowiedniego połączenia zakrytego, pokazanego na rys. 3b. W tym przypadku mamy do czynienia ze specjalną konstrukcją zamka, umożliwiającą zastosowanie dodatkowej podkładki pod łeb wkręta eliminującej mechanizm zniszczenia polegający na przeciągnięciu łba przez blachę okładziny [1]. Pozwala to na znaczne zwiększenie siły niszczącej połączenie. Jest to niezwykle ważne ze względu na fakt, że w połączeniu zakrytym stosuje się jeden łącznik na szerokości płyty.

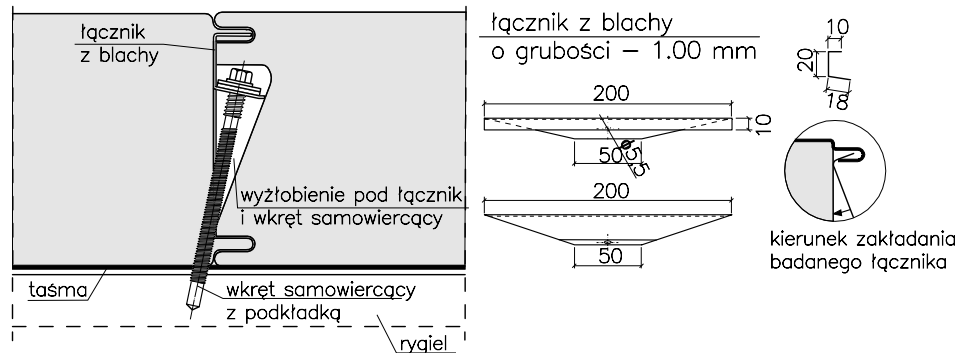


Rys. 3. Sposoby łączenia płyt warstwowych, 1 – rdzeń płyty, 2 – okładzina, 3 – łącznik: a) połączenie bezpośrednie, b) połączenie bezpośrednie zakryte na podstawie [2]

Fig. 3. Different types of joined sandwich panels, 1 – core, 2 – facing, 3 – joint: a) direct fixing joint, b) concealed fixing joint according to [2]

W odróżnieniu od bezpośredniego połączenia zakrytego, pokazanego na rys. 3b, jeden z producentów płyt warstwowych zaproponował połączenie zakryte pośrednie, które pokazano na rys. 4. W połączeniu tym nie ma potrzeby konstruowania specjalnego zamka (por. rys. 3b). Można więc, po wybraniu części izolacji z rdzenia, zastosować tradycyjne warstwowe płyty ściennie. Efekt ten osiągnięto wprowadzając pośredni łącznik wykonany z blachy. Taki sposób łączenia ściennych płyt warstwowych uzyskał również aprobatę techniczną Instytutu Techniki Budowlanej.

W tym przypadku obciążenie wynikające ze ssania wiatru i temperatury przekazuje się przez zamek na pośredni łącznik wykonany z blachy gr. 1 mm, a następnie poprzez samowiercący wkręt na konstrukcję wsporczą obudowy. Powoduje to lokalne wyężenie zamka, w związku z czym sposób wykonania łącznika jest niezwykle istotny.



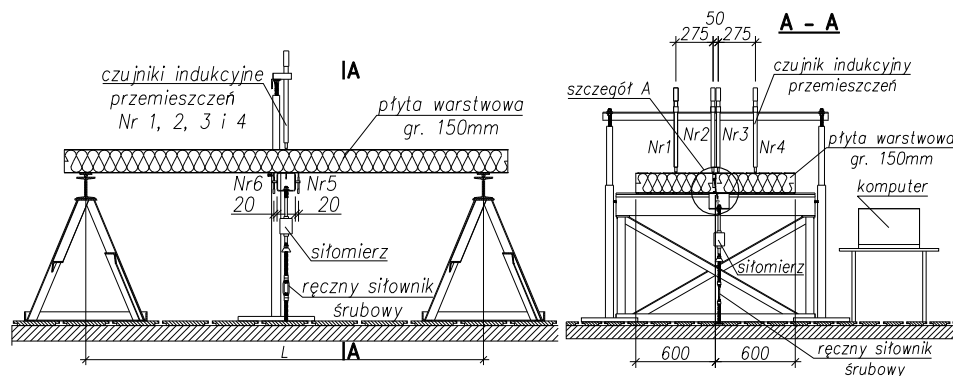
Rys. 4. Widok zakrytego połączenia z rygłem ściennym według producenta

Fig. 4. View of the concealed fixing joint according manufacturer

### 3. Badania laboratoryjne połączenia zakrytego

Nośność zakrytych połączeń płyt warstwowych z ryglami ściennymi zbadano na specjalnym stanowisku [3], które miało odwzorować warunki panujące na rzeczywistym obiekcie. Badania przeprowadzono na czterech modelach połączeń. Szczegóły dotyczące stanowiska oraz metodyka badań zostały przedstawione na rys. 5 i 6. Warto przy tym zwrócić uwagę na kształt i wymiary badanego łącznika, które odbiegały od pokazanych na rys. 4.

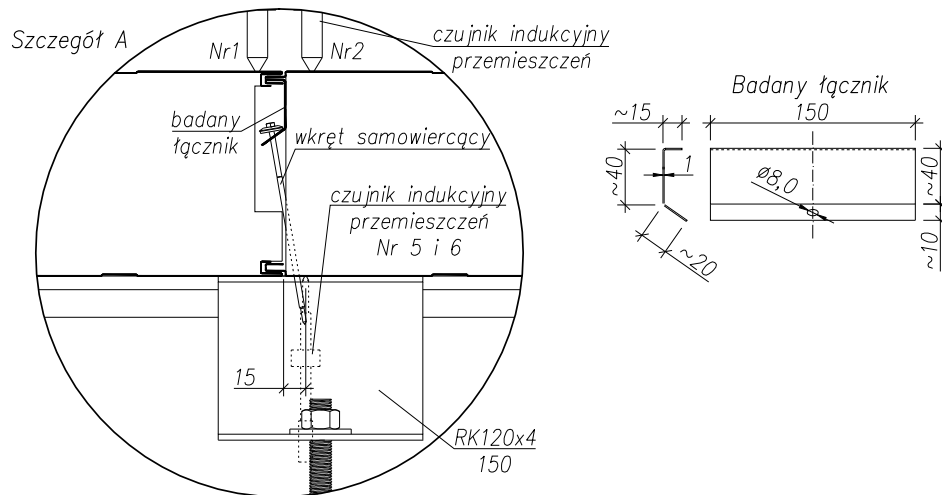
W przypadku dwóch pierwszych modeli (P1, P2) wykorzystano płyty o długości 2,8 m, co pozwoliło na rozstawienie podpór w osiowej odległości  $L = 2,6$  m, natomiast do budowy dwóch pozostałych modeli (P3, P4) zastosowano płyty o długości 3,0 m, co pozwoliło na zwiększenie rozstawu podpór do



Rys. 5. Widoki stanowiska do badań zakrytego połączenia

Fig. 5. View of the test stand of the concealed fixing joint

$L = 2,8$  m. Warto dodać, że odległości między ryglami ściennymi (podporami) w hali są jeszcze większe, gdyż wynoszą nawet 3,21 m.

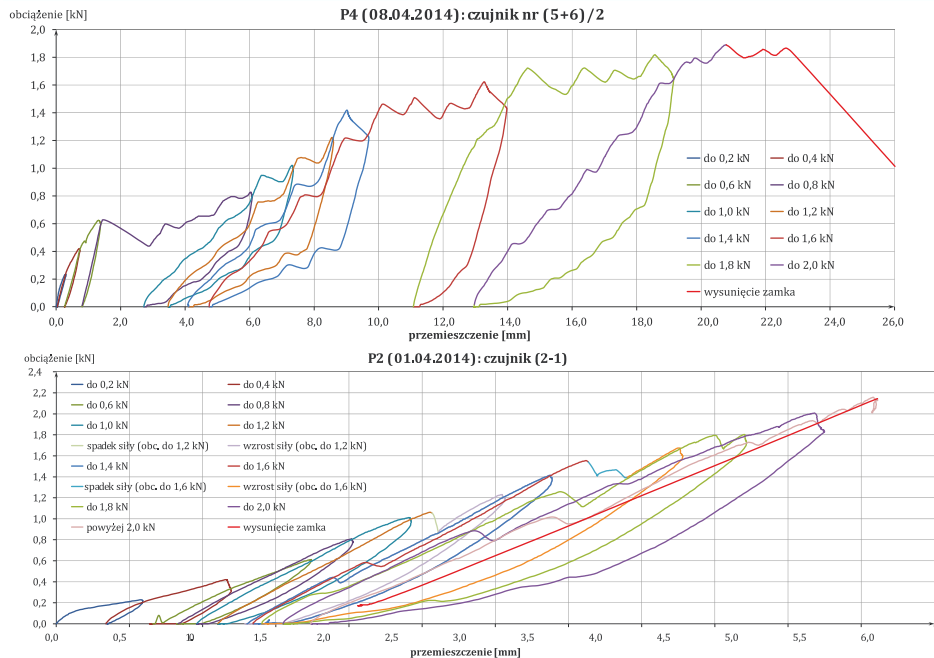


Rys. 6. Szczegół zakrytego połączenia na stanowisku badawczym

Fig. 6. Detail of the concealed fixing joint on the testing stand

Obciążenie zakrytego połączenia wymuszane było poprzez siłownik śrubowym zakotwiony do podłogi. Obciążał on rurę kwadratową, która miała odwzorować rygiel ścienny, a następnie stalowy wkret, badany łącznik i pośrednio płytę warstwową. Siłownik połączony był również z siłomierzem, dzięki czemu możliwe było rejestrowanie wartości obciążeń. Z kolei do pomiaru przemieszczeń wykorzystano 6 czujników indukcyjnych, których rozmieszczenie pokazano na rys. 5. Czujniki ustawione po zewnętrznej stronie okładziny rejestrowały bezwzględne przemieszczenia w połowie szerokości płyt i w okolicach zamka. Natomiast czujniki znajdujące się po stronie wewnętrznej rejestrowały przemieszczenie rygla ściennego względem płyty warstwowej.

Badania zakrytych połączeń płyt warstwowych z ryglami ściennymi miały na celu zarówno określenie ich nośności, jak i poznanie mechanizmu zniszczenia. Aby te cele osiągnąć, obciążenie było realizowane w kilku etapach, ze stopniowym jego wzrostem co 0,2 kN do coraz to większych wartości, aż do zniszczenia. Po każdym etapie badany element odciążano do zera. Wskazania siłomierza i czujników przemieszczeń (por. rys. 5) rejestrowano automatycznie kilka razy na sekundę, co pozwoliło sporządzić odpowiednie ścieżki równowagi statycznej (por. rys. 7).



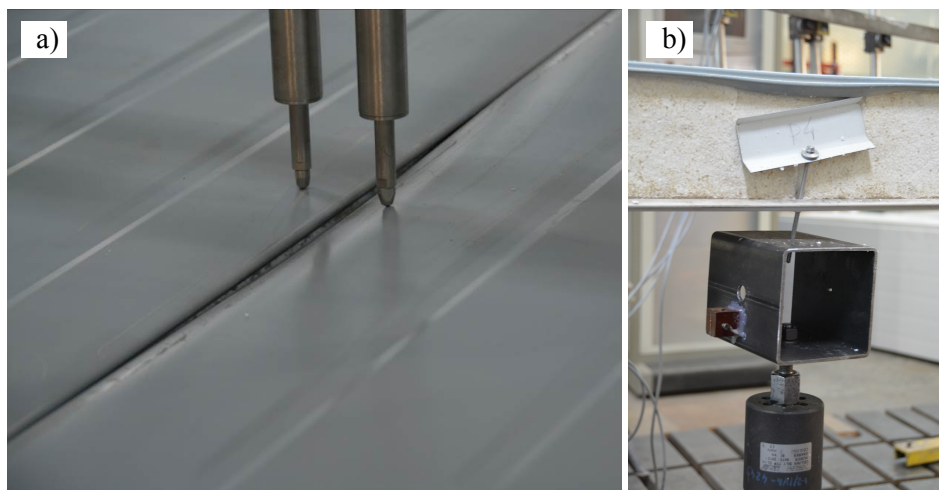
Rys. 7. Ścieżki równowagi statycznej z czujników badanego łącznika w modelach P4 i P2

Fig. 7. Force – deflection curve measured by inductive sensors from P4 and P2 models

Analiza tych ścieżek wraz z zarejestrowanym fotograficznie zachowaniem się badanych połączeń, pozwalają na poznanie mechanizmu niszczenia połączeń, w którym można wyodrębnić następujące fazy:

- 1) plastyczna deformacja podkładki pod łbem wkręta samowiercącego, przy obciążeniu ok. 0,6-0,8 kN, skutkująca powstaniem trwałej szczeliny między płytą warstwową i rygłem wynoszącej ok. 3 mm,
- 2) otwarcie zamka, przy obciążeniu ok. 1,0-1,4 kN, skutkujące kilkukrotnym powiększeniem trwałej szczeliny między płytą i rygłem (rys 8a),
- 3) wysunięcie łącznika z pióra płyty warstwowej, przy obciążeniu ok. 1,6-2,0 kN, a w konsekwencji zniszczenie (separacja) badanego połączenia (rys. 8b).

W świetle otrzymanych wyników należałoby stwierdzić, że obciążenie obliczeniowe badanych połączeń zakrytych, nie powinno być większe niż odpowiadające fazie 1 (0,6-0,8 kN), ze względu na stan graniczny użyteczności, uwarunkowany przemieszczeniami.



Rys. 8. Widok zakrytego połączenia: a) okładzina górna podczas badań, b) po zdjęciu płyty

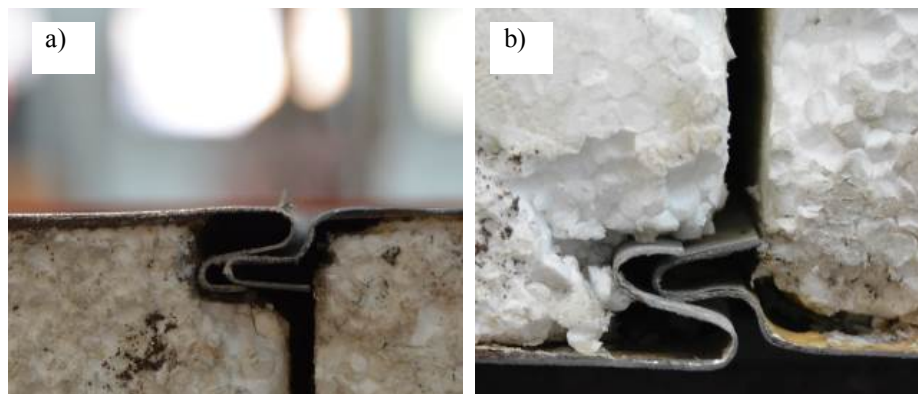
Fig. 8. View of the concealed fixing joint: a) external facing during experiment, b) removed panel

Na obciążenie odpowiadające fazie 1 ma oczywiście wpływ materiał, z którego jest wykonana podkładka. Stosując np. podkładkę stalową, można byłoby zwiększyć to obciążenie do ok. 0,8-1,0 kN. Wątpliwości jednak budzi celowość stosowania jakiegokolwiek podkładki z uszczelką neoprenową w tego typu połączeniach. Głównym zadaniem podkładek jest zapewnienie szczelności między łbami a blachą okładziny na opady atmosferyczne, co jest potrzebne w przypadku połączeń bezpośrednich. Należy przypuszczać, że zastosowanie w badanych połączeniach wkrętów bez podkładek uszczelniających, umożliwiłoby podwyższenie nośności obliczeniowej badanych połączeń do odpowiadającej fazie 2 (ok. 1,0 kN). Wyeliminowanie z badanych połączeń podkładek uszczelniających, pozwoliłoby usunąć przyczynę powstawania odkształceń trwałych powstających w fazie 1. Konieczne jednak byłoby zmniejszenie średnicy otworu na wkręt w łączniku z blachy z obecnych 8,0 mm do 6,0-6,5 mm. Celowe byłoby oczywiście doświadczalne zweryfikowanie pracy tak zmodyfikowanych połączeń zakrytych.

Analizując zachowanie badanych połączeń, wyjaśnienia wymaga przyczyna pojawiania się przy nieco większych obciążeniach (1,0-1,4 kN) fazy 2, tzn. otwierania się zamka między płytami w miejscach połączeń. Z takim zachowaniem się omawianej obudowy mieliśmy do czynienia także na obiekcie. Przyczyną tego jest wadliwie wykonany wpust w płytach warstwowych, z powodu zastosowania podczas ich produkcji zbyt wąskiej blachy na okładziny. W poprawnie wykonanych płytach blacha wpustu powinna obejmować z obu stron pióro płyty na całej długości (ok. 13 mm). W badanych płytach natomiast, blacha wpustu od strony wewnętrznej płyty nachodzi na pióro tylko ok. 4-5 mm. Jest to wyraźnie widoczne na rys. 9 i wyjaśnia dlaczego dochodzi do otwierania zam-



ków między płytami warstwowymi w miejscach połączeń. W przypadku tego typu wad płyt warstwowych, z całą pewnością nie powinno się zbadać połączeń zakrytych polecać do łączenia płyt z konstrukcją wsporczą.



Rys. 9. Szczegóły zamka badanych płyt warstwowych: a) okładzina górna, c) okładzina dolna

Fig. 9. Double lock details of the examined sandwich panels: a) external facing, c) internal facing

#### 4. Uwagi ogólne i wnioski z badań

Przedstawione badania nośności zakrytego, pośredniego połączenia płyt warstwowych z rygłem ściennym pozwoliły m.in. na wyznaczenie dla tych połączeń ścieżek równowagi statycznej oraz poznanie ich mechanizmów zniszczenia. Pozwalają one na sformułowanie następujących wniosków szczegółowych:

- 1) Nośność zastosowanych do połączenia płyt warstwowych z ryglami ściennymi, specjalnych połączeń zakrytych opracowanych przez producenta płyt, uwarunkowana jest stanem granicznym użyteczności (nadmiernymi przemieszczeniami w miejscach połączeń). Na nośność tych połączeń mają istotny wpływ zarówno zastosowane wkręty, jak i konstrukcja zamka między płytami. To niewłaściwa konstrukcja zamka, a uściślając – ich wpustów, miała bezpośredni wpływ na deformacje okładziny zewnętrznej badanych płyt warstwowych w strefach połączeń, przy obciążeniu wynoszącym ok.  $1,0 \div 1,4$  kN. Można przypuszczać, że w przypadku prawidłowo skonstruowanych zamków między płytami warstwowymi, nie powinno w ogóle dochodzić do ich otwierania, tzn. występowania fazy 2, a obciążenie odpowiadające fazie 3 powinno być znacznie większe.
- 2) Zachowanie natomiast badanych połączeń w przypadku obciążeń ponad wartość dopuszczalną przez producenta – 0,9 kN, a mianowicie  $1,0 \div 1,4$  kN, było podobne jak na obiekcie. Następowало otwieranie się zamków między

plytami warstwowymi, co wiązało się z widocznymi deformacjami okładziny zewnętrznej płyt warstwowych w strefie połączenia. Towarzyszyły temu przemieszczenia trwałe, których nie można zaakceptować. Zniszczenie (separacja) połączenia następowała przy obciążeniu 1,6-2,0 kN.

Podsumowując należy stwierdzić, że powstałe deformacje zamontowanych płyt były efektem nałożenia się kilku czynników. Były to ww. błędy producenta oraz błędy na etapie projektowania obudowy i jej łączników. Analiza statyczno-wytrzymałościowa wykazała, że nawet w przypadku prawidłowego wykonania zamków w płytach, połączenia tego typu, głównie z powodu ograniczenia do jednego na szerokości płyty, nie były w stanie zapewnić właściwego połączenia obudowy. W tym przypadku konieczne było zastosowanie łączników bezpośrednich (wkrętów samowiercących) w liczbie co najmniej dwóch, a w strefach przykrawędziowych – trzech na szerokości płyty warstwowej.

### Literatura

- [1] Gosowski B., Kubica E., Badania laboratoryjne konstrukcji metalowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.
- [2] Katalog firmy Rukki „Płyty warstwowe z rdzeniem z wełny mineralnej”.
- [3] PN-EN 14509:2010. Samonośne izolacyjno-konstrukcyjne płyty warstwowe z dwustronną okładziną metalową - Wyroby fabryczne - Specyfikacje.

## LOAD CAPACITY OF THE CONCEALED FIXING JOINT OF SANDWICH PANELS AND WALL GIRTS

### Summary

Paper presents the description of an experimental investigation on concealed fixing sandwich panels and wall girts. The need of running those tests came out of damages noticed on wall sandwich panels of storage steel hall which were visible as humps and corrugation in spots of its joints to wall girts. To determine the reason of arisen damages the extensive tests were conducted. This includes, inter alia, load bearing capacity of concealed joint, tests of the core properties and its traction to facings, bending tests of sandwich beams and material tests of facings. Experiments of the concealed joint were carried on especially prepared test stand. During researches the behavior of the joint was being observed and also deflections of sandwich panels. As a result of conducted experiments the destruction mechanism was identified and load bearing capacity as well. The reason of significant deflections and deformations near joint. Paper ends with practical conclusion.

**Keywords:** steel structure, lightweight wall cladding, sandwich panel, panel characteristics, covered joint, carrying capacity research, failure

*Przesłano do redakcji: 19.06.2015*

*Przyjęto do druku: 10.01.2016*

DOI: 10.7862/rb.2015.182