

dr inż. Jan Jeruzal<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-3578-0225

dr inż. Elżbieta Habiera-Waśniewska<sup>2)\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-6518-9110

# Wpływ uszkodzenia strefy przypodporowej na eksploatację drewnianej ramowej konstrukcji hali sportowej

## *The influence of failure of the support zone on the exploitation of the glued laminated timber frame sports hall construction*

DOI: 10.15199/33.2021.11.08

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki analiz ramowej konstrukcji nośnej hali sportowej z drewna klejonego warstwowo, w której doszło do uszkodzenia strefy przypodporowej jednej z podpór zewnętrznych. Mimo że uszkodzenia pojawiły się 30 lat temu, konieczna okazała się kontrola istniejącego stanu elementów konstrukcyjnych, a szczególnie fragmentów narażonych na działanie czynników atmosferycznych. W ramach prac badawczych przeprowadzono oraz opisano badania materiałowe i wilgotnościowe drewna, pomiary geodezyjne ram oraz wykonano ocenę statyczno-wytrzymałościową konstrukcji. Wykazano, że niezbędne jest zmodyfikowanie i wzmocnienie strefy przypodporowej ramy wraz z odpowiednią konserwacją wszystkich fragmentów zewnętrznych, a także zalecono dalszą kontrolę pracy dźwigara.

**Słowa kluczowe:** ramy nośne z drewna klejonego warstwowo; przemieszczenie wymuszone podpory; ocena stanu technicznego konstrukcji.

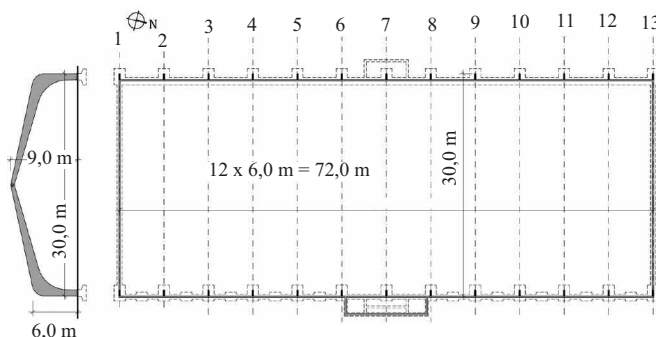
**Abstract.** The paper presents the results of the analysis of the frame structure of sports hall, made of glued laminated timber, in which the support zone of one of the external supports was damaged. Although the damage occurred 30 years ago, it was necessary to control the existing condition of the structural elements, especially the parts exposed to weathering. The research work included material and moisture testing of the timber, geodetic measurements of several frames and static-strength analysis of the construction. It was shown that the support zone of the considered frame should be modified and strengthened and that all external sections of the structure should be properly preserved. In addition, further inspection of the girder behavior was recommended.

**Keywords:** glued laminated timber frames; imposed displacement of the support; technical condition assessment of the structure.

Uszkodzenia i zniszczenia prefabrykowanych wielkogabarytowych elementów z drewna klejonego warstwowo, które powstają na skutek starzenia i reologii drewna, zmian wilgotności oraz temperatury lub innych czynników zewnętrznych, szczególnie często dotyczą stref przypodporowych [5] lub węzłów [3, 4]. Na temat problemów obiektów wykonanych z drewna klejonego warstwowo i sposobów ich usunięcia jest wiele publikacji [1, 2, 6].

### Opis konstrukcji i stanu technicznego hali

Jednym z obiektów wykonanych w Polsce z wielkowymirowymi elementami z drewna klejonego warstwowo jest hala sportowa w Łodzi wybudowana w 1977 r. (rysunek 1). Główne elementy nośne tego obiektu, to trzynaście ram gięto-klejonych rozmieszczonych na żelbetonowych stopach fundamentowych (w rozstawie co 6,0 m). Są to trójprzegubowe układy statyczne o zmiennym przekroju poprzecznym elementów składowych ramy. Rozpiętość ram konstrukcyjnych hali wynosi 30 m, ich wysokość w miejscu przegubu kalenicowego ok. 9 m, a długość hali w osi ram 72 m. Przekrój poprzeczny elementów ramy jest prostokątem o stałej szerokości 17,5 cm



Rys. 1. Schemat obiektu

Fig. 1. Building plan

i zmiennej wysokości, która na długości wynosi odpowiednio: przy fundamencie 72,5 cm; w kalenicy 50 cm, a w narożu ~200 cm. Sztynność konstrukcji zapewniają drewniane płatwie dachowe oparte na powierzchni bocznej dźwigara za pośrednictwem stalowych okuć oraz stężenia z prętów stalowych typu X w co czwartym polu pomiędzy dźwigarami.

Konstrukcja nośna jest posadowiona za pomocą żelbetonowych stóp fundamentowych, z tym że podpory od strony wschodniej znajdują się wewnątrz hali, a od strony zachodniej na zewnątrz, czyli poza zachodnią ścianą osłonową. Stan techniczny ram nośnych i płatwi wewnątrz hali jest dobry, bez widocznych uszkodzeń, ubytków lub zniszczeń materiałowych

<sup>1)</sup> Akademia Kaliska im. Prezydenta Stanisław Wojciechowskiego; Wydział Politechniczny

<sup>2)</sup> Politechnika Łódzka; Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

\*) Adres do korespondencji: elzbieta.habiera@p.lodz.pl

elementów konstrukcji. Nie widać również nieprawidłowości w miejscach oparcia płatwi na dźwigarach. W dużo gorszym stanie są fragmenty zewnętrzne dźwigarów drewnianych. Prawdopodobnie dlatego w latach 2005 – 2006, chcąc zabezpieczyć ramy przed działaniem czynników atmosferycznych, zamontowano osłony z tworzywa sztucznego na ramce z kształtowników stalowych. Warto wspomnieć, iż przed rozpoczęciem kontroli stanu konstrukcji, na zewnątrz budynku od strony zachodniej zlokalizowano magazyn worków z wypełnieniem, które szczelnie zamykały przestrzeń pomiędzy ramami, a przy tym powodowały gromadzenie się wilgoci w elementach konstrukcyjnych i wykończeniowych. Na dźwigarze ramy nr 4 (os 4 – na rysunku 1) stwierdzono niewielkie złuszczenie powłoki konserwacyjnej, która zabezpieczała drewno.

Zewnętrzne ściany osłonowe oraz ściany wewnętrzne wykonano w technologii murowanej lub z płyt warstwowych. Podobnie pierwotne poszycie dachu bazowało na płytach warstwowych, na których w późniejszym okresie ułożono kolejne warstwy. Obecnie warstwą wierzchnią jest papa. W kilku miejscach widoczne są przecieki, w tym w bezpośrednim sąsiedztwie badanej ramy. Ponadto elementy elewacji uległy zniszczeniu i warto byłoby je wymienić.

Jesienią 2020 r. właściciel obiektu podjął decyzję o konieczności wykonania badań stanu technicznego konstrukcji hali sportowej, gdyż zaobserwowano deformację jednego z układów ramowych. W czwartej ramie od strony południowej (rama nr 4) zauważono przemieszczenie przegubu pośredniego (w zworniku) w stosunku do ram sąsiednich, a w konsekwencji przemieszczenie płatwi dochodzących do tej ramy. Taka deformacja ramy jest charakterystyczna w przypadku, gdy przemieszczeniu poziomemu ulega jedna z podpór. W konstrukcji trójprzegubowej wymuszone przemieszczenie przegubowego węzła podporowego w kierunku na zewnątrz powoduje deformację ramy i obniżenie przegubu kalenicowego.

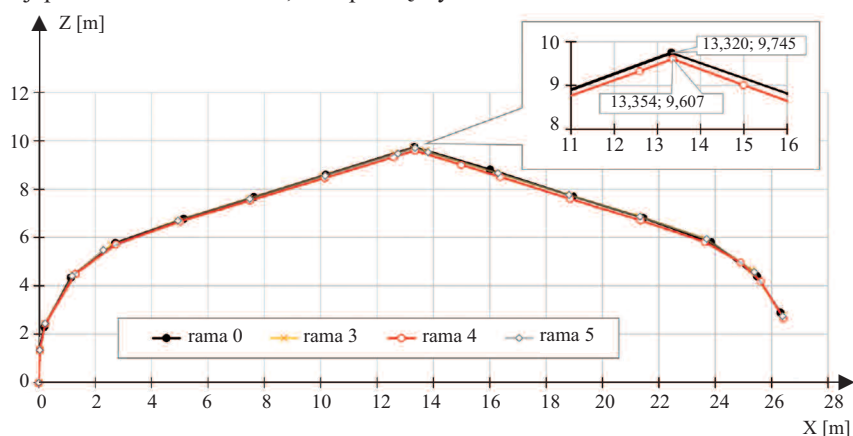
Wstępna ocena zewnętrznych podpór ram w osiach 1 – 6 wykazała, że okucie stalowe dźwigara nr 4 jest inne niż podpór sąsiednich, co może świadczyć, że podpora ta była wcześniej wzmacniana. Istotnym elementem w ocenie było ustalenie okresu, w którym nastąpiło przemieszczenie. Analiza dostępnej dokumentacji wykazała, że konstrukcja obiektu była badana dwukrotnie. W opracowaniu z 1990 r. stwierdzono, że podpora dźwigara nr 4 była przez długi czas okresowo zalewana w wyniku uszkodzenia rury spustowej, która odprowadzała wody opadowe z dachu i była zamontowana na analizowanej ramie. Awaria ta doprowadziła do rozwarstwienia i destrukcji drewna w okuciu stalowym podpory, a krawędź pionowa dźwigara drewnianego znalazła się 8 cm poza krawędzią okucia. Zalecono wówczas wzmocnienie podpory przez podwyższenie istniejącego okucia o dodatkowy fragment stalowy i skrócenie lub zesparanie go ze starym mocowaniem. Natomiast w opracowaniu z 2005 r. potwierdzono przemieszczenie pionowe dźwigara nr 4 w stosunku do dźwigarów sąsiednich. Na podstawie pomiarów wykonanych dal-

mierzem wykazano, że różnica przemieszczenia węzła kalenicowego dźwigara nr 4 w porównaniu z dźwigarem nr 3 wynosi 8 cm. We wnioskach opracowania znalazło się zalecenie kolejnego wzmocnienia i zabezpieczenia podpory zachodniej.

Inwentaryzacja obecnego stanu pokazała, że okucie ramy nr 4 zostało rozbudowane i powstał zupełnie inny (trzeci) model, niż rozwiązania proponowane we wcześniej przytoczonych opracowaniach. Dokonano również oceny jakości spoin spawanych, za pomocą których połączone zostały blachy okucia podpór wewnętrznych ram nośnych. Nie stwierdzono uszkodzeń oraz przemieszczeń stopy fundamentowej ramy nr 4.

## Analiza pracy dźwigara hali sportowej

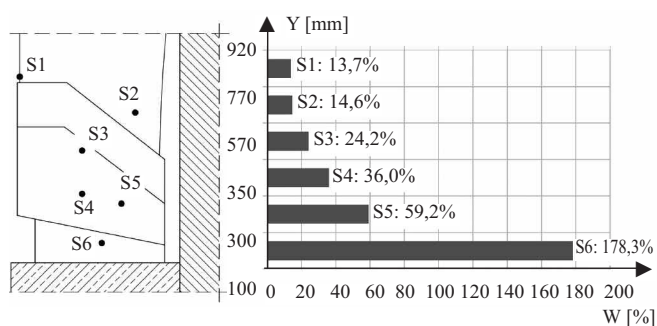
W celu określenia stopnia deformacji ramy drewnianej nr 4 przeprowadzono inwentaryzację jej geometrii metodą pomiarów geodezyjnych. Pomiarom podlegały cztery ramy obiektu, w tym analizowana rama nr 4, dwie ramy z nią sąsiadujące (nr 3 i nr 5) oraz jako ustrój konstrukcyjny bazowy „0” przyjęto ramę z północnej części obiektu (rama nr 7). Określono współrzędne (X, Z) kolejnych punktów pomiarowych rozmieszczonych na powierzchni dolnej na długości elementów ram i wykreślono wykresy rzeczywistych, istniejących deformacji układów ramowych (rysunek 2). Na podstawie współrzędnych punktów najwyżej położonych (w zworniku) określono różnicę przemieszczeń przegubów kalenicowych ram 3, 4 i 5 w odniesieniu do usytuowania przegubu pośredniego w ramie bazowej. Różnica ta wyniosła 9,9 cm pomiędzy ramami nr 3 i 4 oraz 8,8 cm pomiędzy ramami nr 4 i 5.



**Rys. 2. Rzeczywiste deformacje układów ramowych na podstawie pomiarów geodezyjnych**  
 Fig. 2. Actual frame deformations based on geodetic measurements

W celu oceny stopnia zawilgocenia drewna klejonego warstwowo wykonano sześć odwiertów w ramie nr 4 (oznaczono je symbolami od S1 do S6), z których pobrano materiał do badań. Drewno z odwiertów S1 – S5 jest zwarte, szorstkie i suche. Natomiast w odwiercie S6 drewno było mokre i o ciemnym kolorze.

Badania wilgotności drewna wykonano metodą suszarkowo-wagową. Na ich podstawie opracowano wykres zmiany wilgotności materiału na wysokości podpory (rysunek 3). Widać, że drewno ponad okuciem jest suche. Zgodnie z normą [7] dopuszcza się wilgotność drewna pracującego na zewnątrz, ale niezalewanego wodą, wynoszącą do 23%. Natomiast w okuciu stalowym wilgotność drewna jest zmienna – im



**Rys. 3. Rozkład wilgoci w drewnie w strefie podporowej słupa zewnętrznego ramy 4**

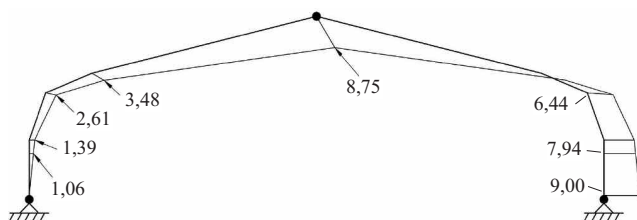
*Fig. 3. Moisture distribution in timber in the support zone of the outer frame column no 4*

niziej, tym drewno jest coraz bardziej mokre i można przyjąć, że końcówka słupa ramy „stoi w wodzie”.

W okuciu stwierdzono wodę opadową, która dostała się tam mimo zastosowanych osłon i nie miała którędy się wydostać. Konstrukcje drewniane pracujące w środowisku narażonym na działanie wód opadowych mogą bardzo długo zachowywać walory wytrzymałościowe, jeżeli mają możliwość swobodnego oddawania pobranej wilgoci (co potwierdzają wyniki badań z odwiertów S2 – S5) i nie „stoją w wodzie”, której poziom jest zmienny. Stosowane na podporach okucia stalowe, których celem jest przekazanie reakcji z dźwigarów (słupów) na fundament i dalej na podłoże gruntowe, powinny mieć otwory (w najniższym punkcie okucia), odprowadzające wodę opadową, gromadzącą się w okuciu. Skuteczność takiego odwodnienia podpór jest uwarunkowana systematyczną kontrolą drożności otworów odwadniających.

W ostatnim etapie analizy wykonano ocenę statyczno-wytrzymałościową konstrukcji, w której drewniane elementy ramy zostały wyidealizowane jako elementy prętowe o zmiennym przekroju poprzecznym. W związku z tym, że rozpatrywana rama to schemat trójprzegubowy, a w układach statycznie wyznaczalnych przemieszczenie podpory nie powoduje zmian w rozkładzie sił wewnętrznych, to analizę pracy konstrukcji ograniczono do obliczeń w stanie granicznym użyteczności. Określono obraz deformacji ramy wywołanej obciążeniem wyjątkowym, jakim jest wymuszone przemieszczenie podpory o 9 cm w kierunku na zewnątrz (rysunek 4). Wartość przemieszczenia odpowiada przesunięciu blachy okucia względem innych podpór.

W wyniku deformacji nastąpiło przemieszczenie przegubu kalenicowego o 8,75 cm. Należy je traktować jako przemieszczenie chwilowe. Po uwzględnieniu efektów długotrwałych oddziaływania otrzymamy przemieszczenie końcowe [7]. Przy założeniu klasy 1 użytkowania konstrukcji oraz klasy



**Rys. 4. Deformacja ramy [cm] na skutek działania wymuszonego przemieszczenia podpory**

*Fig. 4. Deformation of the frame due to forced displacement of the support*

trwania obciążenia jako działania stałego, w przypadku drewna klejonego warstwowo wartość współczynnika  $k_{def} = 0,6$ . Stąd wartość przemieszczenia końcowego wynosi:

$$u_{fin} = u_{inst} \cdot (1 + k_{def}) = 8,75 \text{ cm} \cdot (1 + 0,6) = 14,0 \text{ cm}.$$

Natomiast wartość uzyskana na podstawie pomiarów geodezyjnych wyniosła 14,2 cm. Wyniki analizy teoretycznej są więc zgodne ze stanem istniejącym. Warto zauważyć, że deformacja ramy, w której uwzględnia się wymuszone przesunięcie podpory, będzie większa niż deformacja ramy bazowej w przypadku każdej kombinacji obciążeń.

## Wnioski

W przypadku omawianej hali nie zaobserwowano pęknięć i zniszczeń materiałowych elementów nośnych wewnątrz obiektu oraz odkształceń i deformacji świadczących o przeciążeniu konstrukcji. Problemy były wynikiem przemieszczenia podpory zewnętrznej jednej z ram, które wydarzyło się ponad 30 lat temu z powodu uszkodzenia struktury drewna podpory na skutek awarii rury spustowej i zalewania wodą opadową. Podjęte wówczas działania obejmowały wykonanie okucia stalowego, które aproksymuje przemieszczony dźwigar. Kolejne wzmocnienie strefy podporowej i rozbudowywanie okucia z blach nie wyeliminowało całkowicie problemu stabilności dźwigara. Jak wynika z badań materiałowych i wilgotnościowych, stan drewna można zaakceptować, z wyjątkiem odcinka ok. 20 cm od fundamentu, gdzie drewno jest mokre i zniszczone. Istniejąca forma „stalowego buta” ramy nr 4 uniemożliwia swobodny przepływ wody i wilgoci, co prowadzi do dalszej degradacji drewna.

Zalecono, aby strefę przypodporową omawianej ramy bezwzględnie i niezwłocznie wzmocnić oraz zmodyfikować istniejącą część okucia o dodanie otworów odprowadzających wodę i regularnie sprawdzać ich drożność. Nieodzownym elementem jest także przeprowadzenie prac konserwatorskich wszystkich zewnętrznych fragmentów konstrukcji hali oraz dalsza kontrola pracy dźwigara przez regularny pomiar geodezyjny poziomu zwornika ramy.

## Literatura

- [1] Bogusławska-Kozłowska Joanna, Jan Jeruzal, Jacek Szer. 2014. „Naprawa dźwigarów z drewna klejonego warstwowo”. *Materiały Budowlane* 499 (3): 66 – 67.
- [2] Bról Janusz, Andrzej Ajdukiewicz. 2007. „Awaria i rekonstrukcja dźwigarów z drewna klejonego w przekryciu pływalni”. *XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna – Awarie Budowlane 2007*: 811 – 818.
- [3] Jeruzal Jan, Roman Orłowicz. 2008. „Połączenia przegubowe konstrukcji łukowych z drewna klejonego warstwowo”. *Przegląd Budowlany* 79 (4): 43 – 46.
- [4] Kotwica Ewa, Zofia Gil, Roman Orłowicz. 2011. „Konstrukcje z drewna klejonego – analiza przyczyn awarii i katastrof”. *Inżynier Budownictwa* 5: 76 – 80.
- [5] Lachiewicz-Złotowska Agata, Roman Orłowicz. 2007. „Zachowanie się stref przypodporowych dźwigarów łukowych i belkowych z drewna klejonego”. *Czasopismo Techniczne. Budownictwo* 104 (1-B): 99 – 106.
- [6] Nowak Tomasz, Krzysztof Raszczuk, Jerzy Jasiński. 2013. „Analiza wad projektowych i wykonawczych konstrukcji hali sportowej z drewna klejonego warstwowo”. *XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna – Awarie Budowlane 2013*: 203 – 210.
- [7] PN-EN 1995-1-1:2010: Eurokod 5 – Projektowanie konstrukcji drewnianych – Część 1-1: Postanowienia ogólne – Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków.

Przyjęto do druku: 13.10.2021 r.