

Stan przedawaryjny oraz sposób naprawy dźwigarów dachowych z drewna klejonego

MACIEJ NIEDOSTATKIEWICZ^{1,*}, TOMASZ MAJEWSKI²

¹Katedra Konstrukcji Inżynierskich, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

²Szkoła Doktorska Wdrożeniowa, Politechnika Gdańska

Streszczenie: W artykule przedstawiono opis uszkodzeń konstrukcji dachu sali sportowej, w szczególności drewnianych dźwigarów dachowych z drewna klejonego, które powstały w wyniku popełnionych błędów projektowych oraz wykonawczych. W pracy przedstawiono różne koncepcje naprawy oraz zrealizowane rozwiązanie projektowe wzmocnienia dźwigarów dachowych.

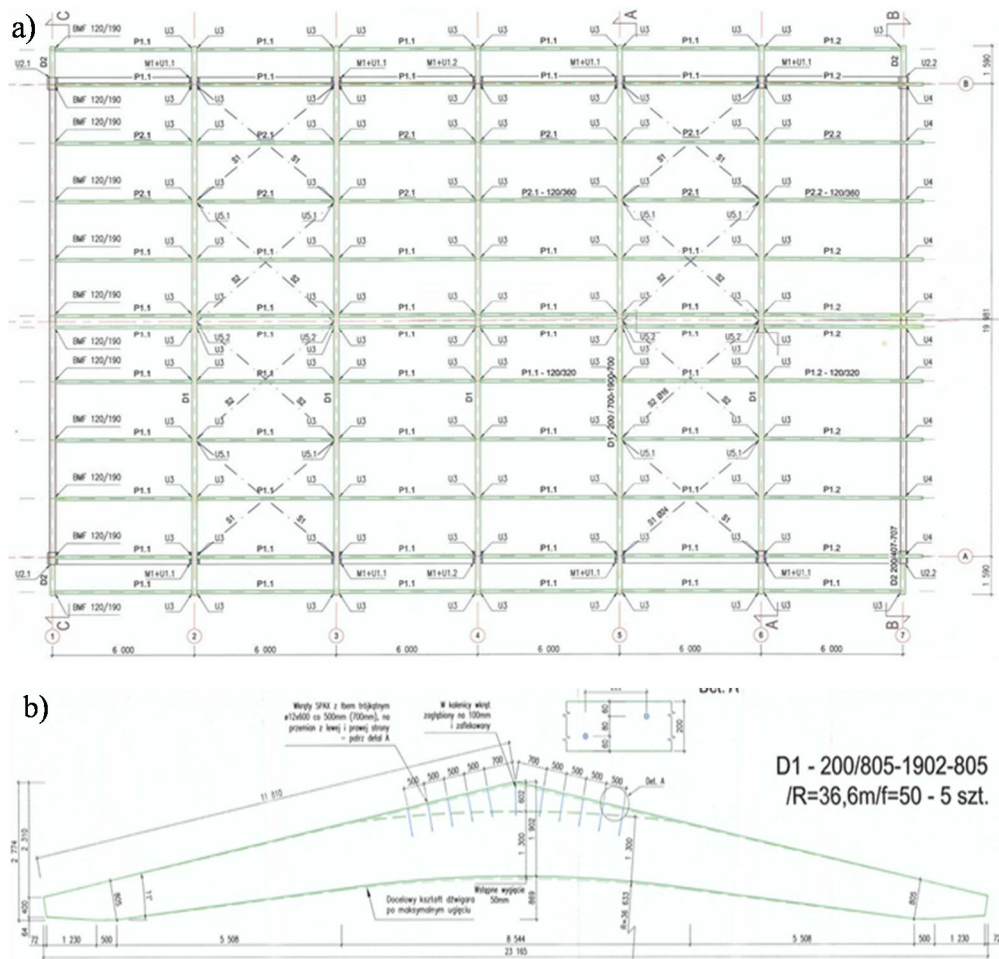
Słowa kluczowe: dźwigary dachowe, drewno klejone, wzmocnienie, sala sportowa, prace remontowe

1. Wstęp

W ostatnim okresie czasu popularnym elementem konstrukcyjnym sal sportowych są dźwigary dachowe z drewna klejonego, które cechują się zarówno wysokimi walorami estetycznymi, jak również umożliwiają przekrycie dużych rozpiętości. Dźwigary z drewna klejonego są w Polsce stosunkowo nowym typem konstrukcji, nie utrwalonym zarówno w praktyce projektowej, jak również wykonawczej. Dokumentacja projektowa dźwigarów dachowych z drewna klejonego w wielu przypadkach jest bardzo ogólna, nie zawiera detali i rozwiązań konstrukcyjnych, a wykonawcy robót nie posiadają doświadczenia w realizacji tego typu konstrukcji [1–2]. Błędy projektowe oraz wykonawcze, w tym odnoszące się do dźwigarów dachowych z drewna klejonego mają nie tylko wpływ na bezpieczeństwo i trwałość konstrukcji obiektu w którym zostały wbudowane, ale wpływają również na bezpieczeństwo jego użytkowania [3–4]. Usuwanie usterek i uszkodzeń w obiektach sportowych, które są już użytkowane jest szczególnie trudne z uwagi na fakt, że wykonanie naprawy wymaga wyłączenia sali sportowej z użytkowania a budynki, najczęściej szkoły, są eksploatowane w trybie ciągłym [5–6]. Dlatego też każda decyzja o przeprowadzeniu prac remontowych w salach sportowych już użytkowanych pociąga za sobą nie tylko bardzo duże koszty finansowe, ale skutkuje również powstaniem istotnych utrudnień eksploatacyjnych. Celem artykułu jest przedstawienie wpływu popełnionych błędów projektowych i wykonawczych, które skumulowane, po krótkim okresie eksploatacji sali sportowej doprowadziły do jej wyłączenia z użytkowania [7]. W artykule przedstawiono zarówno rozpatrywane, z uwagi na jak najkrótszy okres wyłączenia sali sportowej z użytkowania, warianty wzmocnienia

*Autor do korespondencji: mniedost@pg.edu.pl

dźwigarów dachowych oraz scharakteryzowano szczegółowo wybrany i zrealizowany sposób wzmocnienia przedmiotowych dźwigarów dachowych [8–10].

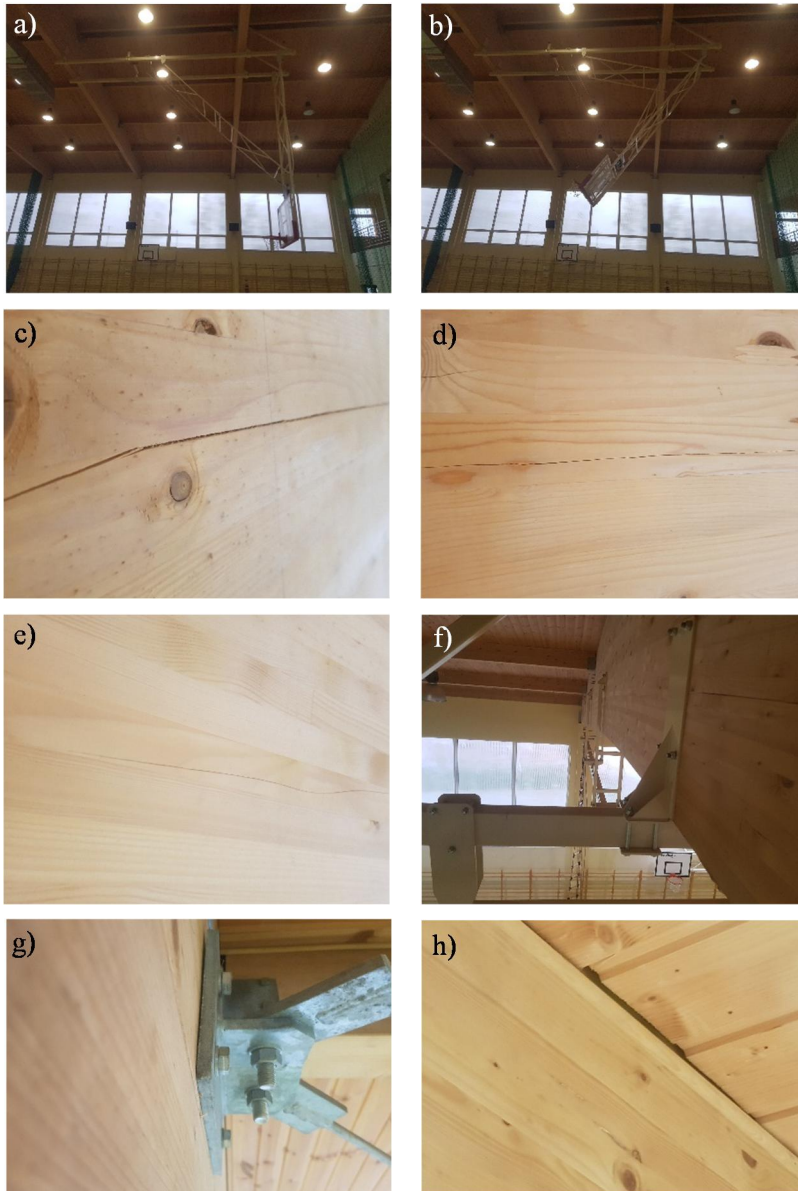


Rys. 1. Sala sportowa – schemat: a) konstrukcji dachu z pokazaniem stężeń dachowych, b) dźwigara dachowego z drewna klejonego.

2. Dane ogólne

Budynek sali sportowej przy szkole ponadpodstawowej o wymiarach w rzucie poziomym $\sim 20' 30$ m (rozstaw osi konstrukcyjnych) wykorzystywany był do prowadzenia zajęć wychowania fizycznego oraz pozalekcyjnych zajęć sportowych. Konstrukcję nośną budynku stanowiły jednoprzęsłowe ramy przegubowe, z żelbetowymi słupami zamocowanymi w stopach fundamentowych, na których oparte zostały rygle (dźwigary) z drewna klejonego. Sztywność przestrzenna budynku zapewniona została przez system stężeń ściennych i dachowych. Ściany między słupami wypełnione zostały bloczkami betonu komórkowego. Konstrukcje dachu stanowiły dźwigary dachowe z drewna klejonego klasy GL28h rozmieszczone w rozstawie co 6,00 m (w osiach 2, 3, 4, 5 oraz 6). Dźwigary przewieszane były poza obrys zewnętrznych

ścian podłużnych w osiach A i B (rys. 1). W osiach 1 i 7 nie wykonano dźwigarów a murywane ściany wykonane zostały do wysokości połaci dachowe. Przewieszenie dźwigarów zostało zastąpione elementami z drewna klejonego mocowanymi do ścian podłużnych.



Rys. 2. Sala sportowa: a), b) widok wnętrza z pokazaniem dźwigarów dachowych z drewna klejonego oraz etapów podnoszenia konstrukcji stalowej do mocowania tablic do koszykówki, spękania dźwigara dachowego: c) pomiędzy warstwami sklejonych lameli (delaminacja desek), d) w grubości pojedynczego lamela (rozszczerpienie drewna wzdłuż włókien), e) ukośne pęknięcie pojedynczego lamela, zdeformowane blachy węzłowe: f) konstrukcji wsporczej tablic do koszykówki, g) stężeń dachowych w miejscu oszacowania w płaszczyźnie bocznej dźwigarów, h) uszkodzenia podsufitki w obszarze płatwi dachowej.

Na dźwigarach dachowych, w poziomie górnej krawędzi zamocowane zostały płatwie podłużne (12' 32 cm) wykonane z drewna klejonego. Oparcie płatwi na dźwigarach wykonano przy użyciu stalowych, ocynkowanych stolików mocowanych na wkręty do bocznych powierzchni każdego dźwigara. Na płatwiach, równoległe do dźwigarów dachowych ułożono krokwie o przekroju 6' 12 cm w rozstawie co ~100 cm. Od spodu bezpośrednio do krokwi, za pomocą dodatkowych łąt, zamocowane zostały gwoźdźmi (tzw. gwoździami tapicerskimi) deski podsufitki o grubości 1 cm, których kierunek ułożenia był równoległy do dźwigarów dachowych. Wzdłuż płatwi oraz wzdłuż dźwigarów dachowych krawędzie desek podsufitki zamaskowane zostały listwami o wymiarach ~1,0×1,5 cm (tzw. ćwierćwałkiem).

5 lat po rozpoczęciu eksploatacji sali sportowej miało miejsce zdarzenie losowe polegające na uszkodzeniu drewnianej podsufitki. W strefie przyściennej, w polu ograniczonym osiami 4 i 5 deski podsufitki odspoiły się od elementów więźby dachowej i opadły na zawieszoną w strefie przyściennej siatkę. Uszkodzona podsufitka została ponownie zamocowana przez Wykonawcę, natomiast podczas prac naprawczych stwierdzono występowanie licznych poziomych pęknięć (delaminacji) na styku desek (lameli), z których wykonane były drewniane dźwigary dachowe, pęknięcia poziome oraz ukośne w grubości samych lameli. Szczególnie niepokojące były rozwarstwienia drewna w strefach przeszłowych, w sąsiedztwie zamocowania ruchomych koszy do koszykówki. Pomierzona szerokość szczelin wynosiła od 5 do 10 mm.

Ze względu na stan techniczny drewnianych dźwigarów dachowych sala sportowa została w trybie natychmiastowym wyłączona z użytkowania.

Na podstawie informacji ustnych uzyskanych od Użytkownika ustalono, że Wykonawca wskazał, jako prawdopodobną przyczynę powstania pęknięć dźwigarów dachowych z drewna klejonego drgania wywołane opuszczaniem/podnoszeniem stalowej konstrukcji koszy do koszykówki, które zamocowane były do dźwigarów dachowych (w osiach 2 i 3 oraz 5 i 6) (rys. 2a, b). Konstrukcje koszy sterowane były silnikami elektrycznymi i zdaniem Wykonawcy drgania były główną przyczyną pęknięcia dźwigarów dachowych z drewna klejonego oraz deformacji podsufitki drewnianej.

3. Opis uszkodzeń dźwigarów

Dźwigary dachowe z drewna klejonego wykazywały liczne spękania, które występowały zarówno pomiędzy warstwami sklejonych lameli (delaminacja desek) (rys. 2c), jak również w ich grubości (rozszczepienie drewna wzdłuż włókien) (rys. 2d). Na płaszczyznach bocznych (obustronnie) widoczne były również ukośne pęknięcia poszczególnych lameli drewnianych (rys. 2e). Zakres uszkodzeń wszystkich dźwigarów dachowych był bardzo zbliżony, w praktyce jednakowy, zarówno dla dźwigarów obciążanych stalową konstrukcją koszy do koszykówki (w osiach 2 i 3 oraz 5 i 6), jak również dźwigarów nie obciążonych („czystych”). Stalowe elementy mocowania (blachy węzłowe) konstrukcji wsporczej tablic do koszykówki w miejscach styku z bocznymi płaszczyznami dźwigarów dachowych były zdeformowane, stwierdzono brak przylegania blach do płaszczyzn dźwigara (zaobserwowano tzw. efekt dźwigni) (rys. 2f). Zdeformowane były również blachy węzłowe mocowania stężeń dachowych do dźwigarów (rys. 2g). Deski podsufitki, w obszarze rzutu całej sali sportowej wykazywały poluzowanie w miejscu mocowania gwoźdźmi i zsuwały się z listew wykonanych z ćwierćwałka na podłogę (rys. 2h).

4. Analiza stanu istniejącego dźwigarów dachowych

Wpływ rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych

W zestawieniach obciążeń zarówno w projekcie budowlanym, jak również wykonawczym nie uwzględniono ciężaru i oddziaływania zamocowania (w postaci sił skupionych, momentów zginających oraz skręcających) ruchomych tablic do koszykówki, które zamontowane zostały do dźwigarów w osiach 2 i 3 oraz 5 i 6 [11–16]. W zestawieniu uwzględniono jedynie wartość równomiernie rozłożonego obciążenia technologicznego o wartości $0,20 \text{ kN/m}^2$, bez dodatkowego komentarza.

W projekcie wykonawczym dźwigara dachowego przywołano oba zestawy powszechnie stosowanych w praktyce inżynierskiej norm: PN-B oraz PN-EN. Projekt opracowany został w okresie obowiązywania norm PN-EN tzw. Eurokodów, w szczególności normy PN-EN 1995_1 Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych [23] (od 2010). Pomimo tego zestawienie obciążeń oraz wymiarowanie wykonano na podstawie wycofanych norm PN-B, w szczególności normy PN-B-03150:2000 Konstrukcje drewniane. Obliczenia statyczne i projektowanie [24]. Co do zasady stosowanie norm w budownictwie nie jest obligatoryjne, a o wyborze poszczególnych norm, w danym projekcie, zawsze decyduje Projektant. Fundamentalną jednak zasadą jest stosowanie tylko jednego wybranego, spójnego zestawu norm, w tym przypadku należało zastosować albo zestaw PN-B albo PN-EN. Z uwagi na istotne różnice treści i metodologii wymiarowania elementów między przywołanymi zestawami stosowanie obu zestawów norm łącznie nie jest możliwe i generuje zagrożenie bezpieczeństwa konstrukcji i bezpieczeństwa użytkowania, co miało miejsce w analizowanym przypadku dźwigara dachowego.

Do obliczeń sprawdzających w zakresie wyężenia elementów drewnianej więźby dachowej tzn. dźwigarów i płatwi z drewna klejonego zastosowano aktualnie obowiązujący zestaw norm PN-EN, w szczególności normę PN-EN 1995-1. Obliczenia wykonano dla dwóch sytuacji eksploatacyjnych:

- Wariant I – dźwigar w stanie nieuszkodzonym,
- Wariant II – dźwigar w stanie osłabionym (z delaminacją).

Obliczenia dla dźwigarów dachowych wykonano dla przypadku dźwigara „czystego”, tzn. nie obciążonego ciężarem konstrukcji wsporczej kosza (Przypadek 1) oraz dla przypadku, gdy do dźwigara jest podwieszona konstrukcja wsporcza (Przypadek 2).

Z uwagi na brak w udostępnionej dokumentacji archiwalnej kart technicznych ze szczegółowymi informacjami dotyczącymi ciężaru stalowej konstrukcji wsporczej koszy, przyjęto na podstawie rozmowy z dostawcą szacunkowy ciężar stalowej konstrukcji wsporczej podtrzymującej mobilne tablice do koszykówki równy $\sim 500 \text{ kg}$. Konstrukcja wsporcza zamocowana była do dwóch sąsiednich dźwigarów. Z uwagi na brak danych dotyczących dokładnego rozkładu mas (reakcji na dźwigary w miejscach jej mocowania) przyjęto równy rozdział obciążeń na oba dźwigary, po 250 kg ($2 \cdot 1,25 \text{ kN}$). Wartość częściowego rozdzielnego współczynnika obciążenia przyjęto jak dla obciążeń stałych ($g = 1,35$).

Podczas przeprowadzonych oględzin wykonano próby opuszczania i podnoszenia koszy (tablic do koszykówki). Podnoszenie/opuszczanie kosza trwało ponad 1 minutę. Wyniki obserwacji pozwoliły na sformułowanie wniosku, że ruch kosza odbywa się sposób powolny, niepowodujący widocznego skręcenia dźwigara dachowego. Zarówno podczas inicjacji opuszczania oraz po jego zakończeniu, jak również w chwili inicjacji podnoszenia oraz po jego zakończeniu nie występowało zjawisko gwałtownego szarpnięcia (uderzenia), które przenoszone byłoby na dźwigary dachowe z drewna klejonego. Z uwagi, na stosunkowo długi czas opuszczania/podnoszenia tablicy, który wynosił ponad 1 minutę pominięto efekty

dynamiczne i nie wykonano szczegółowej analizy (dynamicznej odpowiedzi dźwigara na uderzenie) traktując to jako mało istotne.

Dla obu analizowanych przypadków obciążenia dźwigarów wykonano obliczenia dwóch wariantów geometrii: Wariant I geometria dźwigara odpowiadała przyjętej w projekcie wykonawczym, natomiast w Wariant II uwzględnia rozwarstwienie lameli (delaminację desek klejonych poprzez ich rozwarstwienie) zarówno na długości, jak również grubości dźwigara [17–19].

W Wariacie II wysokość użyteczna przekroju poprzecznego dźwigara w kalenicy zredukowana została do 1300 mm (z pierwotnych 1902 mm przyjętych dla wariacie I). Charakterystyki materiałowe, wartości obciążeń, procedury wymiarowania jak również warunki wyęteżenia sprawdzono według zaleceń normy PN-EN 1995-1 oraz norm związanych PN-EN (obciążeń stałych oraz zmiennych).

Zbiornicze zestawienie wyników dla poszczególnych analizowanych wariantów i przypadków obciążenia dźwigara dachowego przedstawiono w tab.1. W pierwszej kolumnie tab. 1 przywołano numer sprawdzanego warunku według normy PN-EN 1995-1.

Tablica 1. Zestawienie wyników obliczeń sprawdzających wyęteżenie dźwigarów dachowych z drewna klejonego w stanie istniejącym (przed wykonaniem wzmocnienia)

Warunek wyęteżenia SGN (ULS) i SGU(SLS)	Przypadek 1 dźwigar „czysty” (w osi 4)		Przypadek 2 dźwigara obciążony ciężarem kosza (w osiach 2 i 3 oraz 5 i 6)	
	Wariant I (nieosłabiony)	Wariant II osłabiony	Wariant I (nieosłabiony)	Wariant II (osłabiony)
(6.2) (SGN (ULS))	14,0%	13,7%	1,4%	1,4%
(6.19) (SGN (ULS))	66,3%	106,7%	66,7%	107,9%
(6.20) (SGN (ULS))	46,6%	74,9%	46,7%	75,6%
(6.33) (SGN (ULS))	74,8%	112,2%	75,9%	114,2%
(6.41) (SGN (ULS))	65,7%	91,5%	65,8%	92,7%
(6.23) (SGN (ULS))	65,8%	106,3%	67,2%	108,3%
(6.24) (SGN (ULS))	46,1%	74,4%	47,2%	76%
(6.60) (SGN (ULS))	77,9%	76,1%	79%	77%
(6.50) (SGN (ULS))	280,0%	160,3%	285%	168%
Ugięcia (SGU (SLS))	303,1%	434%	318%	449%

Na podstawie analizy otrzymanych wyników obliczeń stwierdzono, że dla Przypadku 1 dźwigar w stanie nieuszkodzonym (Wariant I) nie spełniał warunków Stanu Granicznego Nośności (SGN) (Ultimate Limit State (ULS)). W szczególności należy zwrócić uwagę na przekroczenie, w środku rozpiętości, dopuszczalnych naprężeń rozciągających prostopadłych do włókien o 180% (warunek (6.50)). Dźwigar nie spełniał również warunku Stanu Granicznego Użytkowania (SGU) (Serviceability Limit State (SLS)) z uwagi na dopuszczalne ugięcia, których przekroczenie wynosi ponad 200%.

W stanie osłabionym (po delaminacji) (Wariant II) dźwigar nie spełniał warunków nośności (SGN (ULS)) oraz ugięć (SGU (SLS)) i wymagał wzmocnienia z uwagi na zginanie oraz miejscowy docisk. W szczególności należy zwrócić uwagę na przekroczenie, w środku rozpiętości, dopuszczalnych naprężeń rozciągających prostopadłych do włókien o ~60% (warunek (6.50)) oraz dopuszczalnych ugięć ponad 330%.

Na podstawie analizy otrzymanych wyników obliczeń stwierdzono, że dla Przypadku 2 dźwigar w stanie nieuszkodzonym (Wariant I) nie spełniał warunków Stanu Granicznego Nośności (SGN) (Ultimate Limit State (ULS)). W szczególności należy zwrócić uwagę na przekroczenie, w środku rozpiętości, dopuszczalnych naprężeń rozciągających prostopadłych

do włókien o 185% (warunek (6.50)). Dźwigar nie spełniał również warunku Stanu Granicznego Użytkowania (SGU) (Serviceability Limit State (SLS)) z uwagi na dopuszczalne ugięcia, których przekroczenie wynosi ~ 220%.

W stanie osłabionym (po delaminacji) (Wariant II) dźwigar nie spełniał warunków nośności (SGN (ULS)) oraz ugięć (SGU (SLS)) i wymagał wzmocnienia z uwagi na zginanie oraz miejscowy docisk. W szczególności należy zwrócić uwagę na przekroczenie, w środku rozpiętości, dopuszczalnych naprężeń rozciągających prostopadłych do włókien o ~68% (warunek (6.50)) oraz dopuszczalnych ugięć ~350%.

Projekt wykonawczy więźby dachowej przewidywał wykonanie stężeń dachowych w przedostatnich polach połaci dachowej: w obszarach pomiędzy osiami 2–3 oraz 5–6 ograniczonych osiami A–B: projektant założył wykonanie 4 szt. skratowań w polach pomiędzy dźwigarami dachowymi (rys. 1), zewnętrzne skratowania zaprojektowane zostały z prętów okrągłych o średnicy $\varnothing 24$ mm (4 szt.), natomiast wewnętrzne z prętów o średnicy $\varnothing 16$ mm (4 szt.). Dokumentacja przewidywała zastosowanie stali S235. Stwierdzono, że stan zrealizowany był zgodny ze stanem projektowanym.

Wykonano również sprawdzające obliczenia statyczno-wytrzymałościowe płatwi – spełniały one wymagania normowe Stanu Granicznego Nośności (SGN) (Ultimate Limit State (ULS)) oraz Stanu Granicznego Użytkowania (SGU) (Serviceability Limit State (SLS)).

W dokumentacji projektowej, zarówno w projekcie budowlanym, jak również w projekcie wykonawczym brak był jakichkolwiek zaleceń co do sposobu mocowania desek podsufitki, zarówno do płatwi (między innymi nie określono wymiarów przekroju obwodowych listew krawędziowych na których powinny zostać oparte deski podsufitki), jak również do rusztu z łąt drewnianych w polach pomiędzy płatwiami (nie określono wymiarów łąt, ich rozstawu oraz rodzaju łączników mechanicznych). Na etapie realizacji wzdłuż dźwigarów dachowych oraz wzdłuż płatwi zastosowano listwy o wymiarach $\sim 1,0 \times 1,5$ cm, tzw. ćwierćwałek, na których w założeniu miały opierać się deski. Zastosowany sposób mocowania desek podsufitki do rusztu drewnianego był niewłaściwy – użyte gwoździe małej średnicy, tzw. gwoździe tapicerskie wysuwały się z łąt drewnianych w wyniku zmiany objętości drewna w trakcie zmian jego wilgotności. W następstwie zmian temperatury i wilgotności deski ulegały skróceniu/wydłużeniu/pęcznieniu co skutkowało tym, że poluzowane deski podsufitki zsuwały się z ćwierćwałka i opadały na podłogę sali sportowej.

Na podstawie analizy wpisów do *Dziennika Budowy* ustalono, że Wykonawca robót budowlanych nie wniósł zastrzeżeń co do przyjętych w projekcie rozwiązań konstrukcji dachu.

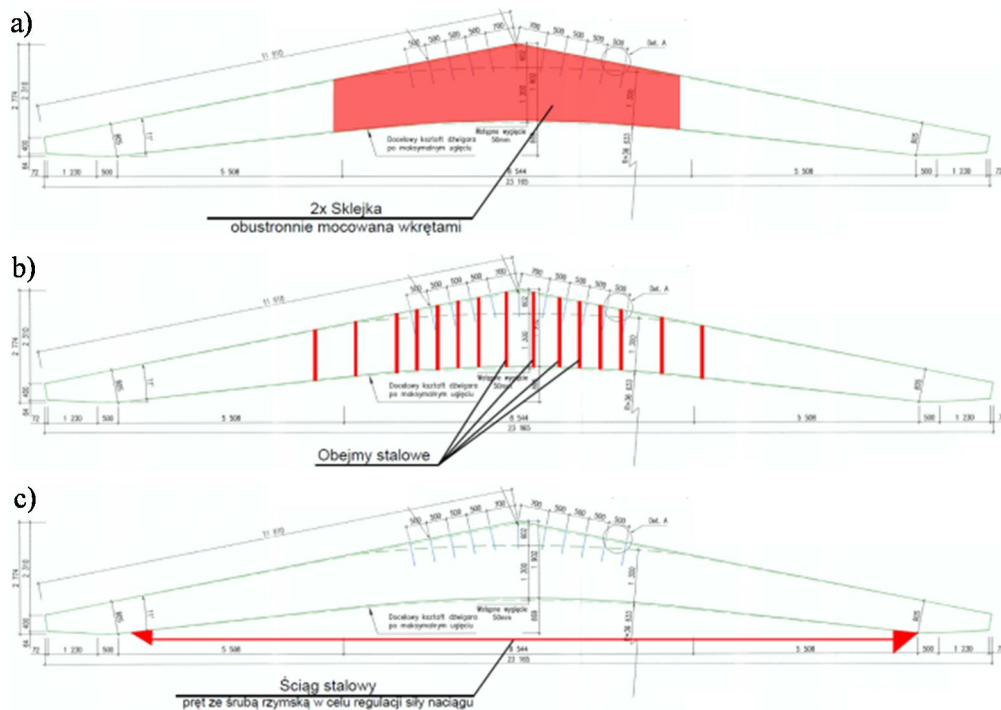
Wpływ warunków gruntowo-wodnych

Na podstawie analizy zakresu uszkodzeń dźwigarów dachowych z drewna klejonego oraz podsufitki drewnianej dachu sali sportowej stwierdzono, że nie są one spowodowane zmianą w czasie warunków posadowienia budynku sali sportowej: nie stwierdzono widocznych uszkodzeń murów zewnętrznych sali sportowej mogących świadczyć o nierównomiernym osiadaniu fundamentów.

Wpływ drzew oraz roślinności

W okresie budowy, jak również późniejszej eksploatacji sali sportowej na terenie przyległym nie usunięto żadnych drzew o istotnych wymiarach w zakresie średnicy pnia oraz wysokości mogących wpłynąć na zmianę rozkładu wilgotności gruntu przy budynku sali sportowe. Nie wykonano też jakichkolwiek nasadzeń drzew i krzewów średnio i wysokopiennych. Tym samym

brak było podstaw do wnioskowania, że system korzeniowy drzewostanu przyczynił się do uszkodzenia dźwigarów dachowych z drewna klejonego oraz podsufitki drewnianej poprzez uszkodzenie fundamentów sali sportowej oraz że korzenie drzewostanu przyczyniły się do zaburzenia warunków gruntowo – wodnych na terenie przyległym do sali sportowej sali sportowej [20].

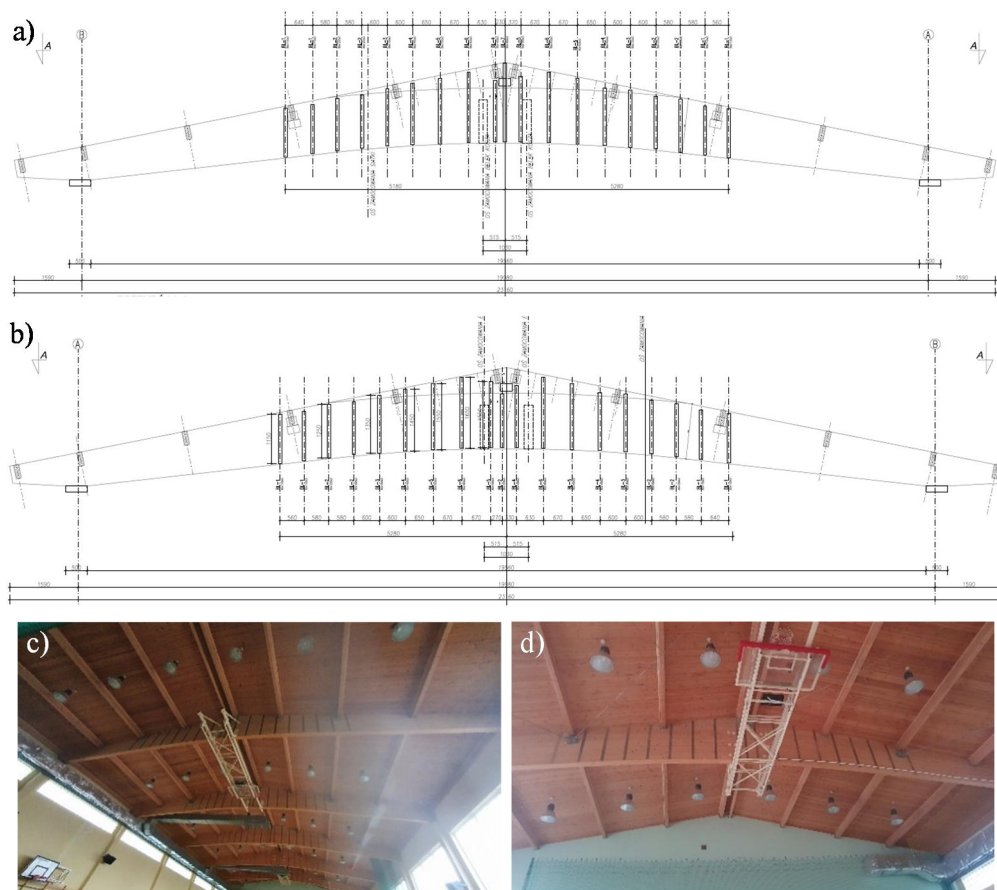


Rys. 3. Koncepcje wzmocnienia i zabezpieczenia dźwigarów dachowych z drewna klejonego w sali sportowej: a) obustronna nadbitka ze sklejki, b) stalowe płaskowniki, c) zamontowanie dodatkowego stalowego ściągu

Dla wszystkich rozwiązań koncepcyjnych pokazano orientacyjne rozmieszczenie elementów wzmacniających

Wpływ oddziaływań komunikacyjnych

Nie stwierdzono odczuwalnych drgań podłoża gruntowego wokół budynku sali sportowej, nie stwierdzono uszkodzeń sali wywołanych drganiami podłoża pomimo usytuowania obiektu w bezpośrednim sąsiedztwie układu komunikacyjnego z intensywnym ruchem pojazdów mechanicznych oraz bezpośredniego sąsiedztwa zakładów przemysłowych: tym samym zrezygnowano z przeprowadzenia pomiarów drgań podłoża gruntowego, zakładając, że nie wniosą one istotnych informacji do dalszej analizy stanu technicznego dachu sali sportowej.



Rys. 4. Wzmocnienie i zabezpieczenie dźwigara dachowego z drewna klejonego w sali sportowej w osi 2: szczegółowe rozwiązanie projektowe – strona: a) lewa, b) prawa, stan zrealizowany – strona: c) lewa, d) prawa

5. Sposób naprawy dźwigarów dachowych

Na etapie analizy statyczno-wytrzymałościowej rozpatrzono trzy rozwiązania koncepcyjne wzmocnienia dźwigarów [21–22]: poprzez zastosowanie obustronnych nakładek ze sklejki wodoodpornej (rys. 3a), poprzez zastosowanie pionowych płaskowników stalowych (rys. 3b) oraz poprzez wprowadzenie dodatkowego ściągu w poziomie dolnych włókien dźwigara dachowego (rys. 3c).

Użycie obustronnych nakładek (rys. 3a) było rozwiązaniem najprostszym zarówno pod względem projektowania, jak również wykonawstwa. Charakteryzowało się jednak niskim poziomem estetyki (zasłonięcie znacznej części dźwigarów dachowych z drewna klejonego), a dodatkowo po wykonaniu wzmocnienia pojawiał się brak możliwości obserwacji ewentualnych zmian morfologii pęknięć (ilości i zakresu delaminacji) dźwigarów dachowych.

Rozwiązaniem bardzo korzystnym, zdaniem Autorów optymalnym, było zastosowanie stalowych płaskowników (rys. 3b). Rozwiązanie to pozwalało na kontrolę stanu spękania dźwigarów, aczkolwiek było pracochłonne, zarówno w aspekcie projektowym (złożoności

obliczeń) jak również wykonawczym (wymagało prefabrykacji elementów stalowych na wymiar i ich zabezpieczenia antykorozyjnego).

Zastosowanie ściągu było rozwiązaniem, ze statyczno-wytrzymałościowego punktu widzenia, najbardziej efektywnym (rys. 3c), jednak jego realizacja okazała się niemożliwa ze względu na ograniczenia wynikające ze strefy pracy konstrukcji wsporczej pod tablice do koszykówki.

Tablica 2. Zestawienie porównawcze wyników obliczeń sprawdzających wyężenie dźwigarów dachowych z drewna klejonego w stanie istniejącym (przed wykonaniem wzmocnienia) oraz w stanie projektowanym (po wykonaniu wzmocnienia)

Warunek wyężenia SGN (ULS) i SGU(SLS)	Przypadek 1 dźwigar „czysty” (w osi 4)		Przypadek 2 dźwigara obciążony ciężarem kosza (w osiach 2 i 3 oraz 5 i 6)	
	przed wzmocnieniem	po wzmocnieniu	przed wzmocnieniem	po wzmocnieniu
(6.2) (SGN (ULS))	13,7%	14,0%	1,4%	14,5%
(6.19) (SGN (ULS))	106,7%	66,8%	107,9%	67,2%
(6.20) (SGN (ULS))	74,9%	46,6%	75,6%	46,7%
(6.33) (SGN (ULS))	112,2%	75,3%	114,2%	76,4%
(6.23) (SGN (ULS))	106,3%	66,3%	108,3%	67,7%
(6.24) (SGN (ULS))	74,4%	46,4%	76%	47,5%
(6.60) (SGN (ULS))	76,1%	78,5%	77%	79,6%
(6.50) (SGN (ULS))	160,3%	41,8%	168%	41,9%
Ugięcia (SGU (SLS))	434%	95%	449%	95%

Ostatecznie, uwzględniając uwarunkowania ekonomiczne (kosz realizacji prac naprawczych) oraz organizacyjne (czas i prostota, łatwość ich przeprowadzenia) podjęto decyzję o zastosowaniu wzmocnienia poprzez wprowadzenie dodatkowych płaskowników stalowych mocowanych obustronnie na bocznych powierzchniach dźwigarów dachowych. Wzmocnieniu poddano wszystkie dźwigary dachowe z drewna klejonego, tzn. rozmieszczone w osiach 2, 3, 4, 5 oraz 6.

Po wyborze sposobu wzmocnienia dźwigarów dachowych wykonano szczegółowe obliczenia sprawdzające, których celem było dobór wymiarów i rozstawu płaskowników oraz dobór ilości i rodzaju łączników. Zbiorcze zestawienie wyników dla poszczególnych Wariantów w różnych Przypadkach obciążenia dźwigara dachowego przedstawiono w tab.2.

Każdy z dźwigarów został wzmocniony płaskownikami stalowymi 80 × 3 mm o długości od 1150, 1250, 1350, 1450, 1550, 1650 do 1850 mm. Płaskowniki zamocowane zostały do dźwigarów przy pomocy stalowych wkrętów do drewna AEl0 mm i długości 140 mm (rys. 4a, b).

W ramach prac remontowych przebudowie poddano drewnianą podsufitkę: deski zamocowane zostały wkrętami (AEl3 mm i długości 60 mm) do łat drewnianych oraz krokwi. Luźne gwoździe tapicerskie zostały usunięte i zastąpione wkrętami, w pozostałych przypadkach obok gwoździa wkręcono wkręt zwracając uwagę na zapewnienie minimalnej odległości od wolnych krawędzi z uwagi na rozszczypanie włókien.

Po zakończeniu prac związanych ze wzmocnieniem dźwigarów dachowych oraz naprawą podsufitki dokonano sprawdzenia i korekacji naciągu prętowych stężeń dachowych (wybrano luzu na śrubach rzymskich).

Zalecono regularne odśnieżanie połaci dachowej z zalegającego śniegu, wskazując jako niedopuszczalne gromadzenie śniegu w pryzmach, tzw. workach śnieżnych, zalegających na połaci dachowej.

Ponadto zalecono sprawdzenie instalacji wentylacyjnej oraz stałe prowadzenie kontroli wilgotności powietrza w sali sportowej – zalecono, aby utrzymywać w sali wilgotność powietrza w granicach od 50% do 60%, i aby nie przekraczać 80% (stan ostrzegawczy przy którym w sali załączały się wentylatory wyciągowe). Dopuszczono aby krótkotrwałe skoki wilgotności powyżej zalecanych 80% nie trwały dłużej niż 10 minut.

6. Wnioski

Bezpośrednimi przyczynami uszkodzeń w postaci rys i pęknięć widocznych na pionowych powierzchniach dźwigarów dachowych wykonanych z drewna klejonego oraz deformacji płaszczyzny podsufitki drewnianej były błędy projektowe oraz błędy wykonawcze.

Do błędów projektowych zaliczyć należy: a) pominięcie ciężaru elementów wyposażenia sali, mocowanych bezpośrednio do drewnianych dźwigarów oraz sposobu ich montażu, b) zastosowanie dźwigarów o niedostatecznej nośności, nie zapewniających bezpiecznego przeniesienia występujących obciążeń. Morfologia pęknięć (delaminacji), ich rozkład, długość i szerokość oraz ilość wskazywały, że były to uszkodzenia o charakterze przeciążeniowym wywołane niedostateczną w przekroju wytrzymałością drewna na rozciąganie w poprzek włókien, c) przekroczenie dopuszczalnych wartości ugięć, oraz d) brak jakichkolwiek zaleceń wykonawczych dotyczących sposobu zamocowania desek podsufitki, w szczególności w zakresie rodzaju i rozstawu łączników mechanicznych mocujących deski do rusztu z łąt drewnianych.

Do błędów wykonawczych zaliczyć należy: a) bezkrytyczną realizację projektu obciążonego istotnymi brakami oraz niedostateczną komunikację między Projektantem i Wykonawcą (brak wpisów do Dziennika Budowy), b) zastosowanie listew sufitowych o zbyt małych wymiarach poprzecznych, niedostatecznie zamocowanych do płatwi dachowych i opartych na wąskich obwodowych listwach krawędziowych (niewielka szerokość tzw. ćwierćwałków w miejscu oparcia desek skutkowało ich wysuwaniem się poza krawędź w wyniku odkształceń wilgotnościowo-skurczowych drewna i ich odpadaniem od konstrukcji dachu, c) zastosowanie gwoździ okrągłych, tzw. gwoździ tapicerskich do mocowania desek do rusztu z łąt drewnianych zamiast wkrętów do drewna, w efekcie czego wykonane połączenie było nie trwałe.

Literatura

1. Subtyk M.: Utrzymanie i kontrola okresowa obiektów budowlanych. Wydawnictwo ODDK, Warszawa, 2012.
2. Szer J., Jeruzal J., Szer I., Filipowicz P.: Kontrole okresowe budynków – zalecenia, wymagania i problemy. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2020.
3. Baranowski W.: Zużycie obiektów budowlanych. Wydawnictwo Warszawskiego Centrum Postępu Techniczno-Organizacyjnego Budownictwa, Ośrodek Szkolenia WACETOB sp. z o.o., Warszawa, 2000.
4. Baryłka A., Baryłka J.: Diagnostyka techniczna obiektu budowlanego. Budownictwo i Prawo, Warszawa, 19–22, 4, 2015.
5. Praca zbiorowa: Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2007.
6. Masłowski E., Spiżewska D.: Wzmacnianie konstrukcji budowlanych. Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 2000.
7. Broł J., Ajdukiewicz A.: Zagrożenie awarią zadaszenia z drewna klejonego warstwowo nad obiektem rekreacyjnym. XXVIII Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane 2013, 261–272, Szczecin-Międzyzdroje, 2017.
8. Al Sabouni-Zawadzka A., Gilewski W., Pełczyński J.: Projektowanie belek z drewna klejonego warstwowo z uwagi na naprężenia prostopadłe do włókien. Inżynieria i Budownictwo, 1, Warszawa, 2019.

9. Franke S., Franke B., Herte A.M.: Failure modes and reinforcement techniques for timber beams. *Construction and Building Materials*, 97, 2015.
10. Gilewaki W., Pełczyński J.: On the influence of orthotropy for perpendicular to grain stress glued beams. *Engineering Mechanics Conference*, Svratka, Czech Republic, 2017.
11. Kotwica J.: Konstrukcje drewniane w budownictwie tradycyjnym. Wydawnictwo ARKADY, Warszawa, 2004.
12. Łoboda P.: Drewniane więźby dachowe w budownictwie jednorodzinym. Poradnik inżyniera. Wydawnictwo Verlag Daschöfer, Warszawa, 2003.
13. Matyskiewicz J.: Konstrukcja budynków w szkielecie drewnianym. Amerykańsko-Polski Instytut budownictwa, Gdańsk 1995.
14. Mielczarek Z.: Budownictwo drewniane. Wydawnictwo ARKADY, Warszawa 1994.
15. Neuhaus H.: Budownictwo drewniane. Podręcznik inżyniera. Polskie Wydawnictwo Techniczne, Rzeszów, 2004.
16. Nożyński W.: Przykłady obliczeń konstrukcji budowlanych z drewna. Konstrukcje budowlane. Wydanie 2-gie zmienione. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 2002.
17. Mackerle J.: Finite element analysis in wood research a bibliography: *Wood Science and Technology*, 39, 2005.
18. Umaima M.C.K, Arya R.: Analytical study on flexural behaviour of glued timber. *International Journal of Innovative in Science. Engineering and Technology*, 4, 2015.
19. Vratusa S., Kitek M., Kilar V.: Structural particulars of glued laminated beams of variable height. *Drewno*, 54, 2011.
20. Jeż J.: Przyrodnicze aspekty bezpiecznego budownictwa. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1998.
21. Markiewicz P.: Detale projektowe dla architektów. Wydawnictwo Archiplus, Warszawa, 2009.
22. Beinhauer P.: Katalog standardowych rozwiązań projektowych detali dla projektów budowlanych. Państwowe Wydawnictwo Techniczne, Warszawa, 2010.
23. PN-EN 1995-1 Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych.
24. PN-B-03150:2000 Konstrukcje drewniane. Obliczenia statyczne i projektowanie.

Pre-failure condition and the method of repairing glued timber roof bears

Key words: roof girders, glued timber, reinforcement, sports hall, renovation works