

STAN PRZEDAWARYJNY PRZEKRYCIA DACHOWEGO Z DREWNIANYMI DŹWIGARAMI WIESZAROWYMI ZABUDOWANYMI W HALI Z POCZĄTKU XX WIEKU

JANUSZ BROL, *e-mail: Janusz.Brol@polsl.pl*

JAN KUBICA

SZYMON DAWCZYŃSKI

Katedra Inżynierii Budowlanej, Politechnika Śląska

Streszczenie: W referacie przedstawiono problemy wraz z ich rozwiązaniem, jakie wystąpiły w odniesieniu do drewnianej konstrukcji nietypowego przekrycia dachowego hali przemysłowej, zlokalizowanej w jednym z miast Górnego Śląska. Przedstawiono bardzo zróżnicowany stan techniczny drewnianej konstrukcji przekrycia, jednakże większość głównych elementów konstrukcji nośnej jest nadal w zupełnie dobrym stanie technicznym, mimo ponad 75 lat eksploatacji oraz nienależytej bieżącej konserwacji – szczególnie w ostatnich latach. Omówiono niewłaściwie wykonaną w ostatniej dekadzie naprawę stref przypodporowych oraz propozycję właściwego wykonania koniecznych napraw oraz wzmocnień.

Słowa kluczowe: konstrukcje drewniane, konstrukcje wieszarowe, utrzymanie konstrukcji drewnianych, wzmacnianie konstrukcji drewnianych

1. Wprowadzenie

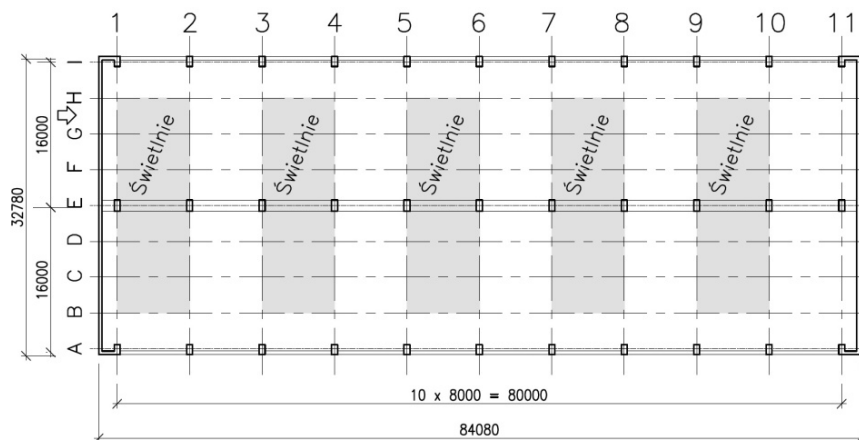
Konstrukcje drewniane na przełomie XIX i XX wieku były powszechnie wykorzystywane w ustrojach nośnych obiektów budowlanych, w tym w obiektów przemysłowych, z uwagi na powszechną dostępność materiału i łatwość jego obróbki. Dopiero silny rozwój przemysłu stalowego ograniczyło powszechność używania konstrukcji drewnianych, jednak w okresie I i II wojny światowej stal była materiałem deficytowym i do wykonywania z nich konstrukcji dachowych, ograniczano jej stosowanie. Niemniej do dzisiaj konstrukcje drewniane, szczególnie nowoczesne ich rozwiązania, stanowią dużą konkurencję dla konstrukcji stalowych.

Konstrukcje drewniane często stosowano łącznie z innymi rozwiązaniami materiałowymi. Bardzo częstym przykładem w starych, istniejących obiektach, w tym przemysłowych ze ścianami murowanymi, było wykorzystywanie drewna na konstrukcje stropowe i dachowe.

Na terenie Górnego Śląska do dnia dzisiejszego użytkuje się wiele hal przemysłowych, wykonanych do końca II wojny światowej, z przekryciami dachowymi wykonanymi w oparciu o różnego typu i kształtu dźwigary drewniane. Konstrukcje te chociaż ulegają z czasem pewnym uszkodzeniom (głównie wskutek naturalnego zużycia oraz zaniedbań kolejnych ich właścicieli lub użytkowników), zwykle z powodzeniem nadal pełnią swą pierwotną funkcję. Większość przekryć w obiektach przemysłowych które mają dachy drewniane, wykonano jako kratownice, najczęściej w układzie skratowania typu N [1]. Oprócz takich typowych układów występują także inne rozwiązania. Jednym z ciekawych przykładów jest dwunawowe przekrycie dachowe, które jest przedmiotem niniejszej pracy, w którym układ konstrukcyjny przekrycia odpowiada spotykanym zwykle w budynkach użyteczności publicznej, nad pomieszczeniami o większych rozpiętościach, czyli konstrukcji wieszarowej. W omawianym przypadku konstrukcję wieszarową, trójwieszakową, wykonano nad halą przemysłową.

2. Opis konstrukcji

Przedmiotowa konstrukcja drewniana, wzniesiona w 1941 roku, stanowi przekrycie jednokondygnacyjnej, dwunawowej hali przemysłowej o wymiarach w rzucie prostokąta i wymiarach 84×33 m. Oś podłużna hali pokrywa się z kierunkiem wschód-zachód. Wnętrze hali przeznaczone jest obecnie na pomieszczenie stacji kompresorów i stacji wymienników ciepła. Wzdłuż zewnętrznych ścian podłużnych przylegają do budynku głównego dobudówki. Hala przykryta jest drewnianym dwuspadowym dachem o nachyleniu 10% z wyniesionymi ponad dach świetlniami. Główną konstrukcję nośną dwunawowego dachu stanowią symetryczne wiązary z drewna litego, wykonane jako jednoprzęsłowe o kształcie trapezowym oraz rozpiętości przęsła po 16 m, rozmieszczone w rozstawie co 8,0 m (rys. 1). Na rysunku 2 pokazano widok przedmiotowych wiązarów.



Rys. 1. Rzut i podstawowe wymiary gabarytowe hali oraz przyjęte oznaczenia osi



Rys. 2. Widok od środka fragmentu przekrycia hali nawy północnej

Układ konstrukcyjny wiązara dachowego odpowiada konstrukcji wieszarowej, trójwieszakowej. Ukośne jednogałęziowe, elementy przypodporowe oraz górna belka dźwigara

o przekroju $0,25 \times 0,19$ m tworzą ramę rozporową (dalej zwaną pasem górnym), u dołu spiętą belką pełniącą rolę ściągu (dalej zwanym pasem dolnym wiązara). Ściąg w części środkowej, pomiędzy słupkami (wieszakami) skrajnymi, jest jednogałęziowy o przekroju $0,25 \times 0,19$ m, natomiast w części przypodporowej wykonany został jako dwugałęziowy o przekroju $2 \times 0,25 \times 0,095$ m. Elementy dwugałęziowe pasa połączone są na zakład z fragmentami jednogałęziowymi, występującymi w części środkowej i strefie podpory. Wieszaki są elementami czterogałęziowymi, wykonanymi z drewna litego ($4 \times 0,06 \times 0,08$ m) oraz dwóch stalowych prętów $2 \times \phi 20$. Ukośne, wewnętrzne elementy wieszara pracujące na rozciąganie wykonano jako dwugałęziowe o przekrojach $2 \times 0,15 \times 0,04$ m – od strony ścian zewnętrznych i o przekrojach $2 \times 0,25 \times 0,055$ m od strony słupów wewnętrznych. Wiazary dwunawowej hali wykonano jako układy jednoprzęsłowe. Siodła, na których oparto wiazary w osi środkowej „E” (kalenicowej) pełnią funkcję spinającą konstrukcję dachu w sąsiednich nawach (por. rys. 2.). Podobną rolę pełnią dwugałęziowe kleszcze zlokalizowane w poziomie pasa górnego wiazarów, które obejmują i spinają równocześnie (w środku rozpiętości) słupy podtrzymujące kalenicowe kratowe płatwie oraz płatwie świetlni. Płatwie dachowe świetlni razem ze podpierającymi je słupami i zastrzałami (rys. 3.) tworzą drewniane ramy portalowe.



Rys. 3. Widok, od spodu, konstrukcji świetlni



Rys. 4. Widok płatwi kratowych pomiędzy świetlniami

Analogiczne rozwiązanie zastosowano także dla dwóch sąsiednich osi D i C oraz F i G, wspartych na pasach górnych wiązarów głównych w miejscu lokalizacji wieszaków. Powstałe ramy portalowe tworzą konstrukcję nośną świetlni dachowych. Ukośne zastrzały, podpierające płatwie świetlni wsparto na siodłkach, umieszczonych wewnątrz wieszaków czterogałęziowych wieszarów głównych oraz słupach kalenicowych.

Na siodłach, na których z jednej strony wsparto zastrzały płatwi, z drugiej strony wsparto dolne pasy kratowych płatwi dachowych (typu W – por. rys. 4.). Górne pasy płatwi kratowych oparto na górnym pasie wiązara dachowego i przepuszczono do ukośnego zastrzału ramy portalowej – usztywniając konstrukcję. Na kratowych płatwiach oraz płatwiach ramy portalowej, rozmieszczonych co 4 m, ułożono krokwie dachowe w rozstawie co 0,8 m (rys. 3 oraz 4).

Jednogałęziowe ściskane elementy konstrukcji wieszarów połączono ze sobą na wręby ze śrubami spinającymi. Elementy jednogałęziowe ściągu (pasa dolnego) z fragmentami ściągu dwugałęziowymi połączono ze sobą zakładkowo. Połączenie wykonano z wykorzystaniem pierścieni gładkich $\phi 200$ spiętych śrubą.

Połączenia pozostałych elementów konstrukcji, usytuowanych w tej samej płaszczyźnie doczołowo, wykonano na pojedyncze lub podwójne wręby ze śrubami spinającymi, natomiast połączenia zakładkowe jako połączenia na pierścienie gładkie ze śrubą spinającą. Pokrycie zewnętrzne dachu stanowi papa na lepiku ułożona na pełnym deskowaniu. W co drugim przedziale międzywiązarowym wykonano świetlnie doświetlające halę, widoczne na rysunku 1 oraz rysunku 5. W osi 6 hala posiada dylatację pionową (nieobejmującą konstrukcji przekrycia dachu). W konstrukcji dachu nie występują stężenia połaciowe.

W trakcie wieloletniej eksploatacji konstrukcji dachu dokonywano różnych przeglądów i lokalnych napraw. W latach 60. ubiegłego wieku przeprowadzono ocenę stanu technicznego oraz kompleksową inwentaryzację konstrukcji dachu – z której niestety zachowały się do dziś tylko nieliczne rysunki. W ramach tej pracy zaprojektowano także wiele wzmocnień tejże konstrukcji. Prawdopodobnie na przełomie lat 60. i 70. wykonano zalecone wzmocnienia elementów konstrukcji dachu, obejmujące głównie dźwigary wieszarowe oraz ramy portalowe. W trakcie wykonywania prac wzmacniających elementy konstrukcyjne, wzmocniono także połączenia w wybranych węzłach konstrukcji – polegające głównie na dołożeniu dodatkowych łączników, takich jak sworznie i śruby.



Rys. 5. Widok fragmentu dachu i świetlni dachowych

3. Stan techniczny konstrukcji dachowej

Przeprowadzone przez autorów pracy oględziny konstrukcji dachowej, a w szczególności dźwigarów głównych i płatwi kratownicowych były prowadzone bezpośrednio z poziomu pomostów suwnic we wrześniu oraz październiku 2015 roku. W ich trakcie stwierdzono występowanie szeregu różnego rodzaju i różnej wagi wad i uszkodzeń w obrębie praktycznie wszystkich typów elementów konstrukcyjnych. W nawie południowej zdecydowanie wyróżniały się widoczne efekty niedawnych (prawdopodobnie wykonanych w ostatniej dekadzie) napraw niektórych elementów konstrukcyjnych i deskowania połaci dachu, pokazane na rysunku 6, przy czym część z tych napraw wykonana została nieprawidłowo i w sposób powodujący wystąpienie zagrożenia bezpieczeństwa użytkowania obiektu – o czym szerzej poniżej. W istniejącej konstrukcji stwierdzono lokalne ubytki przekrojów (miejsca pobierania próbek do badań materiałowych na potrzeby poprzednich ocen stanu technicznego konstrukcji). Te lokalne osłabienia i miejsca ich występowania nie wpływają istotnie na nośność elementów, ale wskazują na to, że w latach ubiegłych dbano o stan techniczny obiektu.



Rys. 6. Widoczne naprawy wykonane w ostatniej dekadzie

Poniżej zestawiono poszczególne grupy zaobserwowanych, typowych uszkodzeń z podziałem na uszkodzenia dźwigarów i pozostałych elementów nośnych konstrukcji.

W zakresie uszkodzeń dźwigarów głównych stwierdzono, między innymi:

- występującą w kilku elementach, z uwagi na długotrwałe zawilgocenie w przeszłości, zaawansowaną korozję biologiczną (początek zgnilizny miękkiej); dotyczyło to pojedynczych przekrojów dwugałęziowego ściągu (rys. 7.) oraz elementów górnego węzła wieszara (rys. 8.),
- znaczne pęknięcia ukośne jednego elementu rozciąganego dwugałęziowego pasa – w miejscu dodatkowych łączników (rys. 9),
- zły stan techniczny węzła podporowego – występuje dodatkowy element wzmacniający połączenie pomiędzy dolnym pasem a skrajnym (ukośnym) elementem pasa górnego. Całość spięta została 4 szpilkami stalowymi. Świadczy to o złej kondycji tego połączenia już w latach ubiegłych (rys. 10),



Rys. 7. Widok skorodowanego ściągu



Rys. 8. Widok uszkodzonego węzła



Rys. 9. Pęknięcie ukośne elementu rozciąganego dwugłazowego pasa dolnego



Rys. 10. Uszkodzenie w miejscu naprawy węzła podporowego

– niestaranne i wadliwe wykonanie napraw dźwigarów w przeszłości w trzech osiach nawy południowej (część elementów wymieniono na nowe – przykład na rys. 6). W jednym z dźwigarów, fragment ukośnego elementu pasa górnego został wymieniony na nowy i połączony nakładkowo z pozostałą częścią ukośnego pasa, ale ponieważ prawdopodobnie został źle docięty (za krótko), brakujący odcinek wypełniono fragmentem deski ułożonym w poprzek włókien, całość maskując od spodu dodatkową deską (rys. 11). W innych trzech dźwigarach, które również były naprawiane w obrębie węzła podporowego (por. rys. 6.), zaobserwowano występowanie innych pierścieni niż w oryginalnych węzłach. W trakcie odtwarzania połączenia zastosowano pierścienie zębate $\phi 62$ (rys. 13.) zamiast pierścieni gładkich $\phi 200 \times 40$ (rys. 14.), które występowały w tym połączeniu pierwotnie. Pierścienie zębate zastosowane w tym węźle w trakcie naprawy są za małe i nie spełniają należycie swojej funkcji. Źle dobrany rodzaj łączników (pierścieni) – o niewystarczającej nośności, jest powodem wykrzywienia śrub spinających występujących w tym połączeniu (rys. 13.). W konsekwencji może to doprowadzić do ścięcia drewna i powstania sytuacji awaryjnej. W jednym z węzłów, również w strefie podpory, stwierdzono wygięte śruby spinające połączenia na podwójny wrąb (rys. 12.) oraz poziome przemieszczenie się elementów węzła. Przyczyną może być ścięcie drewna wzdłuż włókien we wrębie lub niewłaściwie, niedokładnie odtworzone połączenie.

W trakcie przeglądu płatwi kratowych, krokwi i elementów naświetli w hali, nie stwierdzono korozji biologicznej w elementach konstrukcji (za wyjątkiem krokwi ułożonej bezpośrednio na dźwigarze w osi dźwigara 11). Wszystkie te elementy noszą jednak ślady zacieków w obrębie otwieranych okien (w osi B). Jest to również główna przyczyna łuszczenia się powłoki, którą pokryte były wszystkie elementy.

Stan techniczny deskowania i papowego pokrycia dachowego w większości można określić jako dobry, za wyjątkiem miejsc połączenia ze ścianami naświetli (wzdłuż osi B oraz H), gdzie występuje zdecydowana większość uszkodzeń deskowania dachu. W związku z nieuszczelnnością poszycia dachu oraz otwartymi oknami w naświetlach występują liczne zawilgocenia konstrukcji drewnianej, szczególnie węzłów (głównie w pasie górnym w osi B oraz H), a także zawilgocenia całych elementów skratowania dźwigarów oraz elementów płatwi kratowych zlokalizowanych przy naświetlach.



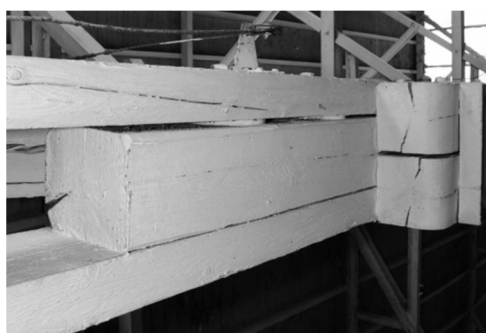
Rys. 11. Niewłaściwa naprawa ukośnego elementu pasa górnego



Rys. 12. Niewłaściwa naprawa węzła podporowego



Rys. 13. Widok połączenia z pierścieniami zębatymi $\phi 62\text{ mm}$



Rys. 14. Widok oryginalnych pierścieni gładkich $\phi 200\text{ mm}$

Cechą wspólną występującą w całej konstrukcji dachowej jest powszechne rozluźnienie styków nakładkowych połączeń pasów górnych i dolnych, zarówno w dźwigarach jak i kratowych płatwiach oraz w połączeniach pasów ze skatowaniem. Pomierzona rozwarłość styków była różna, od kilku milimetrów do nawet 20 mm (por. rys. 13 oraz 14). Z uwagi na 75-letni okres użytkowania i naturalne procesy zmian wilgotności drewna, większość styków elementów w węzłach ulega rozluźnieniu i rozwarciu. Taki stan techniczny węzłów sprawia, że ich nośność maleje i konieczne jest okresowe dokręcanie śrub spinających te połączenia.

W większości elementów dźwigarów występują pęknięcia podłużne o znacznej rozwarłości i głębokości które zaistniały już dawno temu. Aktualnie nie zaobserwowano tworzenia się istotnych nowych pęknięć oraz powiększania się już istniejących. Nie mniej jednak, kilka miejsc wymagało zabezpieczenia przeciw powiększaniu się pęknięć.

Podsumowując wymienione powyżej uszkodzenia należy również nadmienić, że nie wyczerpują one wszystkich stwierdzonych w trakcie prowadzonych przeglądów. Dotyczy to szczególnie miejsc trudnodostępnych gdzie nie było możliwości dokonać szczegółowej kontroli.

4. Wnioski z obliczeń sprawdzających dachu

Obliczenia przeprowadzono dla większości elementów drewnianej konstrukcji dachowej, łącznie ze sprawdzeniem nośności wybranych węzłów. Zestawienia obciążeń oraz analizy statyczno-wytrzymałościowe przeprowadzono zgodnie z aktualnymi normami (Eurokodami). Na podstawie normy EN 14081-1:2005+A1:2011 [4] (wytrzymałościowe sortowanie tarcicy metodą wizualną) i wykonanych oględzin elementów konstrukcji drewnianej oraz wyników badań wytrzymałości przeprowadzonych w latach 70. (do których autorzy mieli dostęp), na potrzeby oszacowania wielkości wyłączenia w poszczególnych elementach konstrukcji – określono jakość drewna jako odpowiadająca klasie KS (średniej) co zgodnie z załącznikiem krajowym do Eurokodu 5 [5] odpowiada klasie wytrzymałościowej C24 dla gatunku drewna sosny i świerku.

Obliczeniowo wykazano ograniczoną nośność konstrukcji dachowej w odniesieniu do obowiązujących obecnie norm obciążenia. Decydującym o wyłączeniu jest obciążenie śniegiem. W przypadku przyjęcia wielkości normowej obciążenia śniegiem, jako obciążeniem równomiernie rozłożonym (bez uwzględnienia możliwości powstania worków śnieżnych), stwierdzono niewielki zapas (12%) – z uwagi na stan graniczny ugięć krokwi oraz prawie graniczne (97%), wyłączenie pasów głównych wieszara.

W przypadku obliczeniowego uwzględnienia możliwości gromadzenia się i zalegania śniegu przy naświetlach (występowanie tzw. „worków śnieżnych”) zarówno ugięcia, jak i obliczeniowe naprężenia w krokwiach są już znacznie przekroczone.

W związku z powyższym obliczenia płatwi kratowych oraz dźwigarów głównych wykonano przy założeniu obciążenia śniegiem równomiernym o wielkości obciążenia $0,58 \text{ kN/m}^2$ – dla dachu świetlni oraz $0,72 \text{ kN/m}^2$ dla dachu głównego. Przy takich założeniach obliczeniowa nośność konstrukcji jest niemal w 100% wykorzystana. Dlatego koniecznym jest prowadzenie stałego monitoringu grubości pokrywy śnieżnej na dachu i nie dopuszczanie do tworzenia się worków śnieżnych. Maksymalną, dopuszczalną grubość zalegania śniegu na dachu oszacowano na 0,30 m.

Alternatywnym rozwiązaniem jest wykonanie odpowiednich wzmocnień krokwi, a w konsekwencji także płatwi kratowych oraz dźwigarów głównych – czyli praktycznie całej konstrukcji przekrycia, co okazało się nie do przyjęcia przez właściciela obiektu.

5. Analiza przyczyn powstania uszkodzeń i zalecenia remontowe

Analizując stan techniczny przedmiotowej konstrukcji stwierdzony w trakcie wykonanego przeglądu uznano, że w przedmiotowej konstrukcji występują trzy główne typy uszkodzeń:

- lokalna korozja drewna w elementach konstrukcji,
- rozluźnienie połączeń pomiędzy elementami konstrukcji dachu,
- niewłaściwie wykonana naprawa dźwigarów (prawdopodobnie w ostatniej dekadzie lub nieco wcześniej – brak dokładnych danych).

Uszkodzenie wymienione w punkcie „a” oraz „b” można analizować łącznie ponieważ związane są ze zmianami wilgotności zarówno wnętrza, jak i otoczenia w hali, co bezpośrednio wpływa na wilgotność drewna. Co prawda, aktualnie poszycie dachu znajduje się w dobrym stanie technicznym, niemniej jednak z zauważonych zacieków należy wnioskować, że w przeszłości dochodziło do lokalnych nieszczelności dachu a tym samym do zawilgacania drewna w konstrukcji. Zwiększonej wilgotności niektórych elementów sprzyjają nieszczelne lub otwarte okna naświetli. Nieszczelności te przyczyniły się do rozwoju korozji biologicznej i lokalnego butwienia drewna. Okresowe zmiany wilgotności powietrza w hali powodują zmiany wilgotności drewna – co wpływa na jego skurcz i pęcznienie. W związku z tym, częste zmiany wilgotności drewna powodują luzowanie się połączeń skręcanych z wykorzystaniem

śrub. Dlatego w trakcie wykonywania przeglądów konstrukcji drewnianych należy zwrócić uwagę na te połączenia i w razie stwierdzenia rozluźnienia połączeń, śruby w tych połączeniach należy dokręcić.

Wilgotność otoczenia jest jednym z podstawowych czynników określających warunki pracy drewna i jego wytrzymałość, decydujących o jego trwałości. W sprzyjających warunkach drewno może być bezpiecznie użytkowane wiele lat nie tracąc przy tym cech mechaniczno-wytrzymałościowych [2]. Należy pamiętać, że wilgotność powyżej 80% to tzw. wilgotny stan ochronny drewna, a wilgotność poniżej 20% to tzw. suchy stan ochronny drewna. Wilgotność drewna w przedziale od 20 do 80% to optymalne warunki do rozwoju grzybów powodujących zgnilizny. Dlatego należy dbać o szczelność pokrycia dachowego jak i świetlni, by w naturalny sposób ograniczyć rozwój korozji biologicznej (proces butwienia drewna). Jest to bardzo istotne z uwagi na stwierdzone występowanie w elementach konstrukcji przekrycia korozji biologicznej. W trakcie przeglądu w porze suchej pomierzona wilgotność drewna była w granicach 14–16%, natomiast po opadach deszczu wilgotność drewna wynosiła już ponad 20%. Dlatego docelowo elementy konstrukcji (lub jej fragmenty) zalecono wymienić na nowe w trakcie najbliższych remontów konstrukcji.

Uwzględniając wyniki wykonanych obliczeń statyczno-wytrzymałościowych wybranych elementów, należy stwierdzić, że w okresach zimowych obliczeniowa nośność konstrukcji jest ograniczona i nie można dopuścić do gromadzenia się nadmiernego śniegu na dachu. W przypadku tworzenia się worków śnieżnych należy je niezwłocznie usuwać. Prawdopodobnie w przeszłości dochodziło do nadmiernego gromadzenia się śniegu na dachu – szczególnie od strony zachodniej. Nie doprowadziło to do wystąpienia awarii całej konstrukcji ale jedynie lokalnego uszkodzenia lub zniszczenia jej fragmentów – o czym świadczą naprawy polegające na odbudowie fragmentów więzów wieszarów. Na skutek nadmiernego gromadzenia się w przeszłości śniegu dochodziło do występowania nadmiernego ugięcia fragmentów konstrukcji nośnej przekrycia hali, głównie krokwi, co w efekcie ułatwiło rozszczelnienie powłoki papowej. Odpowiadają temu obserwowane większe uszkodzenia konstrukcji w pasmach przyściennych.

6. Propozycja naprawy wadliwie wykonanych połączeń

Jak już wspomniano powyżej, w trakcie przeglądu konstrukcji w nawie południowej, w jednym z odbudowanych fragmentów dźwigarów, w połączeniu zakładkowym, stwierdzono duże rozwarście styku (16 milimetrów) – odsunięcie nakładki od środkowej części pasa. W rozwarciu, przy śrubie spinającej, zaobserwowano występowanie pierścienia zębatego $\phi 62$ mm (rys. 13.), zamiast pierścienia gładkiego $\phi 200 \times 40$ mm (rys. 14.), który powinien tu być zastosowany. Nośność pierścienia zębatego $\phi 62$ mm na jedno cięcie w jednej płaszczyźnie ścinania wynosi:

$$F_{v,Rk} = 18k_1k_2k_3d_c^{1,5} = 18 \times 1 \times 1 \times \frac{450}{350} \times 62^{1,5} = 10,54 \text{ kN} \quad (1)$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \times F_{v,Rk}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \times 10,54}{1,3} = 6,48 \text{ kN} \quad (2)$$

Nośność pierścienia gładkiego $\phi 200 \times 40$ mm na jedno cięcie w jednej płaszczyźnie ścinania wynosi (mniejsza z wielkości):

$$F_{v,0,Rk} = \min \begin{cases} 35k_1k_2k_3k_4d_c^{1,5} = 53 \times 1 \times 1 \times \frac{450}{350} \times 1 \times 200^{1,5} = 118,79 \text{ kN} \\ 31,5k_1k_3h_e d_c = 31,5 \times 1 \times \frac{450}{350} \times 20 \times 200 = 151,20 \text{ kN} \end{cases} \quad (3)$$

$$F_{v,0,Rd} = \frac{k_{mod} \times F_{v,0,Rk}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \times 118,79}{1,3} = 73,1 \text{ kN} \quad (4)$$

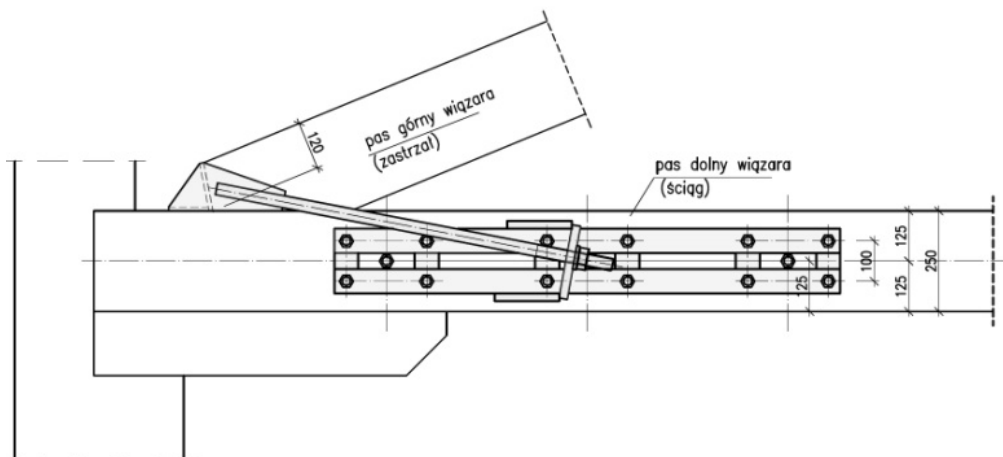
Uwzględniając całość zastosowanego połączenia na pierścieniu zębate, łącznie z nośnością śrub na ścinanie (6 pierścieni + 3 śruby spinające M20), obliczeniowa nośność połączenia wynosi: $F_{v,0,Rd} = 6 \times 6,48 + 3 \times 2 \times 11,27 = 106,5 \text{ kN}$ – i jest to niewystarczająca nośność połączenia odtworzonego węzła, w przecie występuje bowiem siła obliczeniowa 199,58 kN.

W przypadku rozwiązania pierwotnego na pierścienie gładkie $\phi 200 \times 40$ mm, czyli gdyby połączenie odtworzono właściwie to nośność obliczeniowa połączenia wyniosła by:

$F_{v,0,Rd} = 6 \times 73,1 + 3 \times 2 \times 11,27 = 506,2 \text{ kN}$ – i byłaby zdecydowanie większa od sił występujących w pasie dolnym.

Wobec braku łatwej możliwości rozebrania węzła i wykonanie właściwego połączenia na pierścienie gładkie, zaproponowano wykonanie połączenia na 12 śrub M20, rozmieszczając je w dwóch wierszach po 6 śrub w szeregu. Rozwiązanie to jest łatwe do realizacji, a jego nośność obliczeniowa wynosi: $F_{v,0,Rd} = 2 \times 2 \times 52,95 = 211,8 \text{ kN}$ – co jest wielkością większą niż występująca w ściąg siła obliczeniowa wynosząca 199,58 kN, wyznaczona dla przyjętych wcześniej założeń. Rozwiązanie to umożliwiło dodatkowo, wykonanie wzmocnienia na siły poziome, połączenia ukośnego pasa górnego (zastrzału) z pasem dolnym uszkodzonych węzłów pokazanych na rysunkach 10 i 12.

Propozycję naprawy uszkodzonych węzłów pokazano na rysunku 15, a na rysunku 16 przedstawiono jeden z węzłów w trakcie wykonywanej naprawy.



Rys. 15. Schemat zaproponowanego rozwiązania naprawy węzła



Rys. 16. Widok węzła po naprawie

6. Podsumowanie

Opisany w referacie przypadek ciekawej przemysłowej konstrukcji dachowej stanowi dość typowy przykład problemów, z jakimi można się spotkać w odniesieniu do złożonych drewnianych ustrojów dachowych eksploatowanych przez dziesięciolecia. Na podstawie przeprowadzonych oględzin, obliczeń sprawdzających oraz analiz można przyjąć, że w chwili obecnej drewniana konstrukcja dachu hali znajduje się w bardzo zróżnicowanym stanie technicznym. Większość głównych elementów konstrukcji nośnej jest w zupełnie dobrym stanie technicznym, mimo 75 lat eksploatacji oraz nienależytej bieżącej konserwacji – szczególnie w ostatniej dekadzie. Niemniej trzeba mieć na uwadze fakt, że niektóre z elementów nośnych trzeba było zakwalifikować jako będące w stanie przed awaryjnym lub wręcz awaryjnym, wymagającym bezzwłocznego podjęcia działań remontowo-naprawczych.

Podstawową przyczyną powstałych uszkodzeń i wad obserwowanych w konstrukcji dachu nie jest długoletnia eksploatacja obiektu, lecz niewłaściwie wykonane naprawy – szczególnie w ostatnich latach eksploatacji. W efekcie, część elementów konstrukcji nośnej przekrycia hali uległa znacznej degradacji. Drewno jako materiał pochodzenia roślinnego jest podatne na destrukcyjne oddziaływania biologiczne w niekorzystnych warunkach, natomiast w warunkach optymalnych ma bardzo dużą trwałość sięgającą nawet setek lat. Działania ochronne powinny polegać głównie na zapewnieniu konstrukcjom drewnianym optymalnych warunków, w których będą użytkowane i zredukowaniu lub eliminowaniu czynników sprzyjających rozwojowi grzybów i owadów w tych konstrukcjach. Na rozwój korozji biologicznej mają wpływ czynniki fizyczne, w których drewno się znajduje w trakcie użytkowania.

O biologicznym stopniu porażenia, decyduje głównie wilgotność elementów konstrukcji. Wilgotność materiału, a w szczególności drewna jest silnie związana z wilgotnością otoczenia, lecz nie jest jego jedyną przyczyną. Często nadmierna wilgotność drewna wynika ze złych rozwiązań projektowych umożliwiających w łatwy sposób zawilgocenie konstrukcji przy utrudnionym odprowadzeniu (np. gniazda w ścianie, „buty stalowe” pod słupami zlokalizowanymi na zewnątrz obiektów itp.). Do nadmiernego zawilgacania elementów drewnianych przyczyniają się również takie czynniki jak: wody opadowe, podciąganie wód gruntowych, nieszczelne instalacje, wody technologiczne oraz niska jakość prac budowlanych.

Literatura

1. Ajdukiewicz A., Brol J., Hulimka J., Węglorz M.: Awaria wielkopołaciowego dachu o konstrukcji drewnianej. Awarie budowlane. Zapobieganie, diagnostyka, naprawy, rekonstrukcje. XXIII Konferencja naukowo-techniczna, Szczecin-Międzyzdroje, 23–26 maja 2007. Politechnika Szczecińska. Wydział Budownictwa i Architektury. Szczecin: Wydaw. Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, 2007.
2. Brol J., Dawczyński S., Adamczyk.: Possibilities of timber structural members reuse. Wiadomości Konserwatorskie, 2016.
3. Krajewski A., Witomski P.: Ochrona drewna. Wydanie I. Wydawnictwo SGGW. Warszawa, 2003.
4. EN 14081-1:2005+A1:2011 Konstrukcje drewniane – Drewno konstrukcyjne o przekroju prostokątnym sortowane wytrzymałościowo – Część 1: Wymagania ogólne.
5. PN-EN 1995-1-1:2010 Projektowanie konstrukcji drewnianych Część 1-1: Zasady ogólne i zasady dla budynków.

THE PRE-DAMAGED STATE OF THE ROOF WITH BUILT-IN TIMBER TRUSS GIRDERS OVER THE HOUSE ERECTED AT THE BEGINNING OF THE TWENTIETH CENTURY

Abstract: The paper describes the problems that were seen on the untypical timber structure of the roof of industrial hall located at the one of the cities in the Upper Silesia. It also presents the diversified technical condition of the structure. Despite of more than 75 years of operation and inadequate maintenance, the most of the structural elements are still in a satisfactory condition. The inappropriate and inadequate strengthening of near-supporting zones performed during the last decade is discussed and the proper implementation of necessary repairs is proposed.

Keywords: timber structures, trusses structures; maintenance of timber structures; strengthening of timber structures