Prof. dr inż. Andrzej AJDUKIEWICZ, *Andrzej.Ajdukiewicz@polsl.pl*
Dr inż. Janusz BROL, *Janusz.Brol@polsl.pl*
Dr inż. Jacek HULIMKA, *Jacek.Hulimka@polsl.pl*
Dr inż. Marek WĘGLORZ, *Marek.Weglorz@polsl.pl*
Politechnika Śląska w Gliwicach

AWARIA WIELKOPOŁACIOWEGO DACHU O KONSTRUKCJI DREWNIANEJ

THE FAILURE OF THE LARGE-SIZE TIMBER ROOF

Streszczenie W jednym z dużych zakładów przemysłowych Śląska doszło w sezonie zimowym 2005/2006 do zawalenia się znacznej części stalowego dachu dwunawowej hali produkcyjnej. Spadająca konstrukcja stalowa uszkodziła skrajne dźwigary przyległego dachu drewnianego, skutkiem czego przekryty tym dachem fragment hali także został wyłączony z użytkowania, do czasu wykonania kompleksowej ekspertyzy. Podczas realizacji ekspertyzy okazało się, że konstrukcja drewniana wykazuje szereg wad i uszkodzeń stanowiących poważne zagrożenie dla jej nośności. W referacie przedstawiono stan całości konstrukcji dachu drewnianego, opisując najbardziej typowe uszkodzenia, wyniki analizy statyczno-wytrzymałościowej oraz zakres i technologię poszczególnych etapów zalecanych napraw.

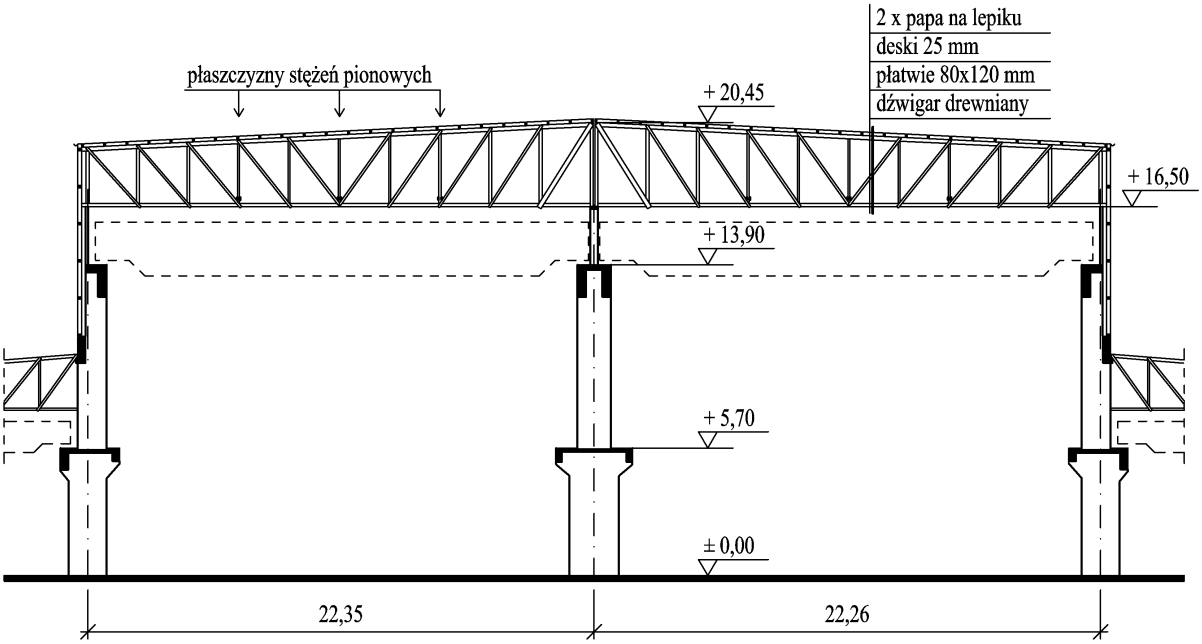
Abstract In one of the Silesian large industrial plants, collapse of the considerable part of steel roof of the two-bays production room took place in winter period 2005/2006. Falling steel construction damaged edge girders of the adjacent timber roof, what resulted in the situation that part of the production room roof covered with timber roofing had been closed for utilisation until complex experts evaluation was done. During evaluation it was found out that timber construction reveals the whole range of defects and damages posing a serious threat to its loading capacity. The paper presents condition of the whole timber roof construction, describing most typical defects, results of static-strength analysis, as well as scope and method of running particular stages of the recommended repairs.

1. Krótki opis konstrukcji dachowej

Przedmiotem referatu jest drewniana konstrukcja dachu przekrywającego dwunawową halę produkcyjną w jednym ze śląskich zakładów przemysłowych. Zgodnie z zachowanymi nielicznymi fragmentami oryginalnej dokumentacji projektowej, przedmiotowa hala została wzniesiona w 1941r., jako przedłużenie znacznie starszej hali dwunawowej o konstrukcji stalowej, tworząc z nią wspólną przestrzeń użytkową.

Dwunawowa hala z dachem drewnianym (rys. 1) ma łączną szerokość w osiach słupów około 44,6m i długość około 102m, przy wysokości w kalenicy nieznacznie przekraczającej 20m. Układ nośny obiektu stanowią masywne słupy żelbetowe, połączone w kierunku podłużnym monolitycznymi belkami podsuwnicowymi w dwóch poziomach. W obydwu nawach zamontowane są natorowe suwnice pomostowe, w przeszłości obsługujące także wspomniane wcześniej nawy o konstrukcji stalowej. Obecnie, żelbetowe belki podsuwnicowe

wzmocnione są konstrukcją stalową, której genezy nie wyjaśnia posiadana dokumentacja archiwalna.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny hali

Dach nad każdą z naw skonstruowano jako jednospadowy dźwigar drewniany o konstrukcji kratowej, w efekcie uzyskując dwuspadowy dach nad całym, dwunawowym obiektem. Poszczególne dźwigary, rozstawione co 3,50m, oparte są w liniach ścian zewnętrznych na słupkach drewnianych wzmocnionych kształtownikami stalowymi, a w osi środkowej na słupkach żelbetowych. Wysokość dźwigarów jest liniowo zmienna, od 2,6m w osiach skrajnych, do 3,7m w osi środkowej. Kratownice wykonano z elementów o następujących przekrojach:

- pas dolny: 140×140 [mm]
- pas górny: 140×180 [mm]
- słupki: 140×80, 140×100, 140×120, 140×140 [mm]
- krzyżulce: 2 × 60×100, 2 × 60×140, 2 × 60×200 [mm]

Węzły kratownic wykonano przy użyciu pierścieni Geka, ze stabilizacją śrubami M24. Złącza pasów dolnych wykonano jako nakładkowe, z pierścieniami Geka, a złącza pasów górnych jako dociskowe, z niewielkimi nakładkami stabilizującymi (zatem przenoszące tylko siły ściskające).

Pomiędzy dźwigarami założono stężenia pionowe, w trzech płaszczyznach w każdej z naw.

Na pasach górnych oparto płatwie drewniane o przekroju 80×120mm, w rozstawie co około 1,0m, a na nich wykonano pełne deskowanie o grubości 25mm. Pokrycie wykonano z dwóch warstw papy na lepiku.

Do dźwigarów dachowych podwieszono instalację oświetleniową.

2. Opis uszkodzeń i wad konstrukcji

Bezpośrednią przyczyną wyłączenia przedmiotowej hali z eksploatacji było zawalenie się dachu dwunawowej hali stalowej, z którą była ona bezpośrednio połączona od strony północnej, stanowiąc wspólną przestrzeń użytkową. Walący się pod ciężarem worków

śnieżnych dach stalowy w znacznym stopniu uszkodził skrajne dźwigary drewniane (rys. 2), stwarzając realną możliwość zawalenia się uszkodzonych fragmentów dachu. W zaistniałej sytuacji Użytkownik obiektu zlecił autorom referatu wykonanie kompleksowej ekspertyzy dachu drewnianego, przy założeniu konieczności około 10-letniego okresu eksploatacji.

Rys. 2. Zniszczenie skrajnego dźwigara drewnianego

Z uwagi na uwarunkowania wynikające z konieczności jak najszybszego dopuszczenia obiektu do eksploatacji, ekspertyzę podzielono na dwa etapy. W pierwszym z nich przeanalizowano możliwość i zasadność dalszego użytkowania dachu, a następnie określono zakres i zalecenia prac naprawczych pozwalających na tymczasową eksploatację obiektu bez obciążenia śniegiem. Etap drugi obejmował pełną analizę obliczeniową konstrukcji oraz sformułowanie zaleceń prac remontowych, realizacja których pozwoli na stałą eksploatację obiektu.

Szczegółowy przegląd konstrukcji dachu wykazał następujące wady i uszkodzenia:

- zniszczenie skrajnych dźwigarów sąsiadujących z zawalonym dachem stalowym (rys. 2),
- zniszczenie styków pasa dolnego w dwóch dźwigarach (rys. 3); jeden z tych dźwigarów wykazywał ugięcie uniemożliwiające eksploatację suwnic i został przez Użytkownika obiektu czasowo podstemplowany, z oparciem stempli na unieruchomionym moście jednej z suwnic,
- liczne przypadki poluzowania śrub w stykach pasów dolnych (rys. 4), skutkujące wysunięciem kolców pierścieni Geka z drewna; w stykach tych praktycznie pracowały tylko śruby, co drastycznie obniżało nośność połączeń,
- lokalne zerwanie krzyżulców przypodporowych w dwóch dźwigarach (rys. 5), zmieniające wewnętrzny schemat statyczny elementów,
- bardzo silną korozję biologiczną końcowych odcinków pasów górnych w czterech dźwigarach,
- uszkodzenia korozyjne płatwi i desek poszycia,
- praktycznie całkowite zużycie pokrycia papowego, rynien i rur spustowych,
- wcześniejsze lokalne naprawy, wykonane w sposób nie zapewniający właściwej nośności elementów i połączeń.

Rys. 3. Przypadek uszkodzenia styku pasa dolnego

Rys. 4. Przykład poluzowania śrub w styku pasa dolnego, widoczne pierścienie

Rys. 5. Przykład uszkodzonego krzyżulca przypodporowego

Swoistą wadą konstrukcji, wynikającą z zawalenia się sąsiadującego dachu, było jej otwarcie na działanie wiatru. W powstałej sytuacji, przy niekorzystnym kierunku wiatru (od strony rozebranej hali stalowej), znacznie wzrastała przyłożona do połaci dachowej wypadkowa siła ssąca, mogąc doprowadzić do odwrócenia sił w prętach, a w skrajnym przypadku nawet do zerwania dachu.

3. Analiza obliczeniowa

Analizę obliczeniową konstrukcji dachowej przeprowadzono przy założeniu rzeczywistych przekrojów prętów konstrukcyjnych, bez potrąceń ewentualnych ubytków, jednak z uwzględnieniem osłabień otworami. Po szczegółowych oględzinach wszystkie elementy drewniane zakwalifikowano do klasy C24. Przeprowadzone w programie RM-win obliczenia wykazały wykorzystanie nośności obliczeniowej odpowiednio w poszczególnych grupach prętów: pas dolny do 70%, pas górny do 46%, krzyżulce do 40%, słupki do 56%. Obliczeniowe ugięcie końcowe wyniosło 25,5mm, wobec dopuszczalnej wartości 37,5mm. Wykorzystanie obliczeniowej nośności w połączeniach dźwigarów nie przekraczało 82%.

Bazując na powyższych wynikach uznano, że konstrukcja spełnia warunki normowe wszędzie tam, gdzie nie doszło do uszkodzeń mechanicznych lub korozyjnych, istotnie obniżających nośność lub sztywność elementów.

4. Przyczyny obserwowanych uszkodzeń

Obserwowane w konstrukcji dachu uszkodzenia można generalnie podzielić na dwie grupy. Pierwszą z nich stanowią uszkodzenia mechaniczne spowodowane uderzeniami. Podstawowe jest tutaj zniszczenie skrajnych dźwigarów spowodowane bezpośrednio zawaleniem się sąsiadującego dachu stalowego. Do tej samej grupy należą uszkodzenia styków pasów dolnych, spowodowane uderzeniem suwnicą, chociaż trudno tutaj orzec, czy uderzenie było przyczyną pierwotną, czy wtórną, spowodowaną wcześniejszym nadmiernym ugięciem elementu wskutek opisanego wcześniej obluzowania śrub i pierścieni w stykach.

Zasadniczą, drugą grupę stanowią typowe uszkodzenia eksploatacyjne, będące wynikiem wieloletniego użytkowania obiektu bez prowadzenia odpowiednich przeglądów i bieżących napraw. Należą do niej wszelkie uszkodzenia typu korozyjnego wraz z ich następstwami w postaci lokalnie zniszczonych prętów. Do tej samej grupy należy zaliczyć poluzowanie śrub i pierścieni w licznych stykach, zwłaszcza w obrębie pasów dolnych.

Podobnie, do wad eksploatacyjnych, zaliczyć należy przypadki wykonywanych wcześniej lokalnych napraw, w większości zrealizowanych w sposób amatorski, nie zapewniający uzyskania przez naprawiany element właściwej nośności.

5. Zalecenia wykonawcze

Jak już wspomniano wcześniej, ekspertyza wykonana została w dwóch etapach, z których każdy podsumowany został szczegółowymi zaleceniami wykonawczymi.

Zalecenia etapu pierwszego obejmowały wykonanie prac niezbędnych dla umożliwienia bezpiecznej eksploatacji hal poza okresem zimowym. Zalecono tutaj:

- rozbiórkę zniszczonych dźwigarów skrajnych, a w efekcie skrócenie hali o jedno pole,
- zamknięcie hali poprzez wbudowanie ściany poprzecznej zabezpieczającej wnętrze obiektu przed wpływami atmosferycznymi,

- naprawę zerwanych tyków pasów dolnych, poprzez wbudowanie odpowiednio długich nakładek, po wcześniejszym wyprostowaniu dźwigarów do momentu zamknięcia się zerwanych styków pasów dolnych,
- wymianę uszkodzonych krzyżulców,
- wymianę skorodowanych odcinków pasów górnych,
- szczegółowy przegląd i dociągnięcie śrub we wszystkich stykach, z lokalną wymianą nakładek.

Przed przystąpieniem o zalecanych prac Użytkownik obiektu zadecydował o odbudowie hali stalowej, w wyniku czego odstąpiono od zalecenia skrócenia hali o jedno pole i wbudowania ściany poprzecznej. W zaistniałej sytuacji konieczne stało się odtworzenie obydwu skrajnych dźwigarów drewnianych. Bazując na wynikach cytowanych wcześniej obliczeń zalecono tutaj odtworzenie identycznych jak oryginalne dźwigarów, z wykorzystaniem pierścieni Geka odzyskanych z rozebranych elementów. Jednocześnie zmieniono sposób oparcia nowych dźwigarów, przekazując reakcje podporowe na wsporniki nowoprojektowanych słupów hali stalowej.

Zalecenia sformułowane w wyniku drugiego etapu ekspertyzy obejmowały:

- naprawę wszelkiego rodzaju drugorzędnych uszkodzeń w obrębie dźwigarów i stężeń,
- wykonanie poprawek i wzmocnień w zakresie w przeszłości nieprawidłowo wykonanych napraw,
- wymianę uszkodzonych, znacznych fragmentów poszycia,
- wymianę całości izolacji przeciwwodnej dachu, wraz z obróbkami, rynnami i rurami spustowymi,
- oczyszczenie i powierzchniowe zabezpieczenie wszystkich elementów konstrukcji drewnianej.

Generalnie, zalecenia sformułowane w obydwu etapach pracy zakładały jak najmniejszą ingerencję w istniejący układ nośny, zatem naprawy i wzmocnienia zaprojektowano w sposób jak najbardziej zbliżony do oryginalnych rozwiązań projektowych. Generalną zasadą byłą wymiana uszkodzonych elementów na identyczne, z odtworzeniem węzłów przy użyciu pierścieni Geka odzyskanych podczas demontażu uszkodzonych fragmentów konstrukcji. Prowadzone w obiekcie prace objęto szczegółowym nadzorem, bowiem część uszkodzeń ujawniała się dopiero po demontażu sąsiadujących elementów, co wymagało bieżącego korygowania i uzupełniania pierwotnych zaleceń.

6. Podsumowanie

W referacie opisano przypadek drewnianej konstrukcji dachowej, która z uwagi na dotychczasowy okres użytkowania i zastosowane rozwiązania materiałowe powinna być poddawana szczególnie wnikliwej i częstej kontroli. Tymczasem dopiero awaria sąsiadującego dachu stalowego i związane z nią uszkodzenia dźwigarów drewnianych wymusiły na Użytkowniku obiektu wykonanie kompleksowej ekspertyzy konstrukcji dachowej, wynikiem której było stwierdzenie ogólnie złego, a lokalnie wręcz awaryjnego stanu konstrukcji nośnej. Szczęśliwie nie stało się to zbyt późno i możliwe było jeszcze uratowanie konstrukcji, jednakże kosztem znacznych nakładów pracy i kosztów.