

# Wpływ błędów procesu budowlanego na awarię konstrukcji dachu hali

XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna awarie budowlane 2013

Dr inż. Elżbieta Grochowska, prof. dr hab. inż. Antoni Matysiak, Uniwersytet Zielonogórski

## 1. Wprowadzenie

Na awarie czy katastrofy budowlane ma wpływ wiele czynników, a w ich wyniku może nastąpić zniszczenie całego obiektu lub jego części. W artykule opisano katastrofę obiektu halowego, która wystąpiła w części magazynowej obiektu. Obiekt składa się z dwóch hal, które będą nazywane w dalszej części artykułu halami „H” i „G”.



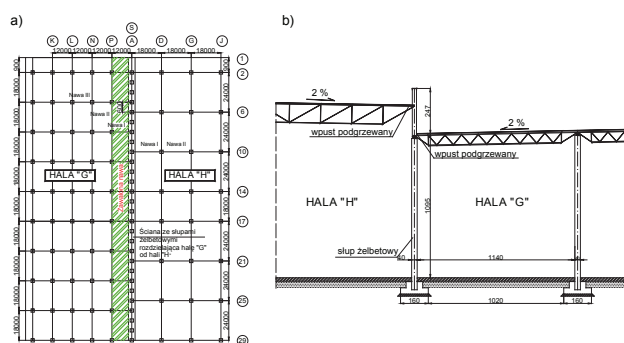
Rys. 1. Zawalony dach obiektu magazynowego

Zimą w roku 2011 nastąpiło zawalenie jednej nawy hali „G”, co pokazano na rysunku 1. Halę magazynową „G” zaprojektowano w 2001 roku. Przewidziano dalszą rozbudowę obiektu i wykonano halę „H”. Hala „H” w planach rozbudowy miała być halą niższą. W rzeczywistości wykonano halę „H” wyższą od hali „G”, jak pokazano na rysunku 2.

Zniszczeniu uległa nawa oznaczona na rysunku 2 jako nawa nr I, nawa nr II została częściowo uszkodzona. W miejscu różnicy wysokości budynków wystąpił efekt wiatru i odpowiednie przemieszczanie śniegu, powodujące zwiększenie obciążenia, w stosunku do projektowanego.

## 2. Opis obiektu

Wymiary w rzucie hali „G” wynoszą 108,00 x 191,12 m. Słupy mają wysokość 8,90 m, a siatka słupów hali wynosi 18,00 x 12,00 m. Słupy są żelbetowe prefabrykowane o wymiarach przekroju 40 x 40 cm. Słupy oparto na żelbetowych fundamentach o wymiarach w rzucie 160 x 160 cm. Na słupach oparto stalowe wiązary kratowe o rozpiętości 18,00 m. Na wiązarach opierają się, co 6,00 m płatwie kratowe o rozpiętości 12,00 m. Na płatwiach kratowych ułożono blachę fałdową T127/0,75 mm. Dach ocieplono utwardzoną wełną mineralną grubości 10 cm i pokryto papą termozgrzewalną. Zastosowano spadek dachu wynoszący około 2,0%. Na rysunku 2 pokazano fragment rzutu hal „G” i „H” oraz przekrój poprzeczny na styku hal.



Rys. 2. a) Rzut hal „G” i „H”. b) Przekrój przyległych naw hal „G” i „H”

Ogólny opis hali „H” jest taki sam jak hali „G”. W części głównej hali siatka słupów wynosi 18,00 x 24,00 m. Na żelbetowych słupach o wysokości wynoszącej 12,36 m są oparte stalowe kratowe dźwigary o rozpiętości 24,00 m. Na dźwigarach oparto kratowe płatwie o rozpiętości 18,00 m, rozstawione co 6,00 m. Żelbetowe prefabrykowane słupy o przekroju 50 x 80 cm są zamocowane w fundamentach żelbetowych o wymiarach 160 x 160 cm.

## 3. Warunki normowe dotyczące opracowania projektu

Zgodnie z normą [1] PN-B-06200:2002 „Konstrukcje stalowe budowlane. Warunki wykonania i odbioru” dokumentacja projektowa ma zawierać specyfikację techniczną, projekt techniczny oraz rysunki warsztatowe

i montażowe, w skrócie określane projektem. Jeśli nie opracowuje się specyfikacji technicznej, to jej funkcję spełnia projekt techniczny.

Projekt techniczny konstrukcji stalowej powinien zawierać: opis techniczny konstrukcji, obliczenia statyczne, rysunki projektowe, wstępny wykaz stali, informacje niezbędne do opracowania rysunków warsztatowych i obliczenia połączeń. Obliczenia połączeń elementów powinny być wykonane łącznie z rysunkami warsztatowymi, jeśli zostało to uzgodnione w kontrakcie.

Dokumentacja powykonawcza powinna obejmować komplet rysunków warsztatowych i zestawieniowych z naniesionymi wszystkimi zmianami, które wprowadzono podczas wytwarzania i montażu konstrukcji.

#### 4. Usterki i błędy procesu budowlanego

Projektanci, wykonujący na zlecenie Inwestora projekty hal, dysponowali tylko projektami powykonawczymi, nie było w dokumentach projektów technicznych konstrukcji, obliczeń statyczno-wytrzymałościowych, rysunków projektowych. W projekcie powykonawczym nie zostały naniesione zmiany w stosunku do projektu technicznego.

Projekt zawierał wiele błędów i był niedopracowany. Rysunki powykonawcze nie spełniały warunków norm [1] i [2]. Opis techniczny nie zawierał wielu potrzebnych i ważnych informacji. W opisie technicznym i na rysunkach konstrukcji projektant musi podać gatunek stali, z jakiej zaprojektowano obiekt oraz podać na rysunkach gatunek elektrod do spawania, czego w projekcie również zabrakło. Nie było też świadectwa jakości, zgodnie z normą [3]. W opisie technicznym i w innych materiałach nie podano sposobu mocowania blach fałdowych z konstrukcją nośną. Nie zastosowano w konstrukcji dachu tężników poziomych i tężników pionowych. W opisie technicznym podano, że rolę tężników poziomych spełnia zastosowana blacha fałdowa o wysokości fali 127 mm i grubości 0,75 mm. Wiadomym jest, że blacha fałdowa nie zastąpi tężników, bez odpowiedniego mocowania tej blachy z konstrukcją, co również nie zostało podane.



**Rys. 3.** Połączenie blachy fałdowej z pasem górnym płatwi kratowej



**Rys. 4.** Zastosowane pręty skratowania C40 x 20 x 5 x 5 w płatwi dachowej

Rysunek konstrukcji płatwi hali „G” zawierał również usterki. Pręty skratowania wykonane z kształtowników walcowanych o przekroju ceowym, nie były usytuowane symetrycznie względem płaszczyzny kratownicy i nie podano pełnych wymiarów ceownika. Projektanci obiektu stwierdzili, że na niesymetryczne rozłożenie prętów skratowania płatwi nie mieli wpływu, nie uzasadniając dokładnie, co mają na myśli. Na rysunkach nie podano teoretycznych długości prętów. Nie było znane usytuowanie osi pręta skratowania w stosunku do osi pasa górnego czy dolnego kratownicy. Nie był znany sposób połączenia spoinami prętów kratownicy w węzłach. Wiązar kratowy zawierał podobne usterki jak w przypadku płatwi. W przekrojach hali „G” i hali „H” nie podano poziomów oparcia konstrukcji dachu, a wymiary poziomów są istotne z uwagi na prawidłowe wykonanie spadków dachu i wysokości obiektu.

#### 5. Wyniki wykonanych badań obiektu

Ze względu na brak podstawowych informacji, które powinny być zawarte w projekcie budowlanym, a których nie było, należało podczas wizji lokalnej ustalić stan faktyczny, wykonać badania oraz pomiary inwentaryzacyjne istniejącej konstrukcji. Wyniki wykonanych badań, dotyczące hali „G” były następujące: fałdowe płyty pokrycia miały długość dostosowaną do oparcia na trzech płatwiach i stanowiły dwuprzęsłową belkę o rozpiętości przęseł równą 6,00 m. Z tego względu, płatwie, które znajdowały się w środku długości płyty były znacznie bardziej obciążone od pozostałych. Należało ten fakt uwzględnić w obliczeniach nośności płatwi. Płyty fałdowe w miejscach oparcia były łączone z płatwiami w miejscach przylegania każdej fali, śrubami samogwintującymi (rys. 3), a poszczególne arkusze blachy były wzajemnie łączone jednostronnymi nitami rozstawionymi, co około 50,0 cm.

Po zmierzeniu wymiarów prętów płatwi kratowej stwierdzono, że pręty skratowania nie są zgodne z projektowanymi. Na rysunkach konstrukcyjnych opisano pręty skratowania tylko symbolem litery U40. Zgodnie z oświadczeniem projektantów, miały to być pręty o przekroju

U40 x 35 x 6 x 5. Najprawdopodobniej, wykonawca konstrukcji odczytując oznaczenie na rysunkach konstrukcji uznał, że chodzi o kształtownik produkowany w hutach w Polsce, stosowany w naszym kraju powszechnie i znajdujący się w katalogach z oznaczeniem C (U) 40. Zastosowany kształtownik (C40 x 20 x 5 x 5) ma mniejsze wymiary w stosunku do przekroju przyjętego przez projektantów (rys. 4). Zastosowany kształtownik ma mniejsze pole przekroju poprzecznego, a smukłość większą. Wbudowane w konstrukcję pręty o większej smukłości są bardziej narażone na odkształcenie mechaniczne w czasie wykonywania konstrukcji.

Sposób oparcia płatwi na dźwigarze o rozpiętości 18,00 m, pokazano na rysunku 5. Sposób oparcia w poszczegól-



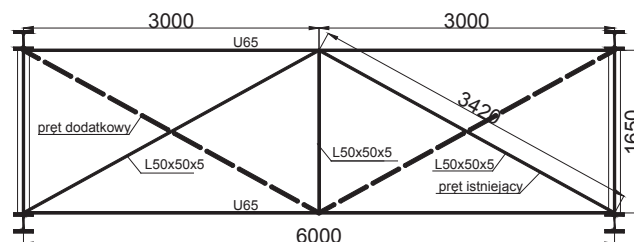
Rys. 5. Oparcie płatwi na dźwigarze głównym

nych miejscach był niejednorodny i o różnych wymiarach. Wykonane oparcia nie były rozwiązaniami powszechnie stosowanymi. W tym obiekcie były to rozwiązania wymuszone. Na rysunkach projektowych nie było podanych poziomów na słupach hali. Wykonane podpórki, w miejscach oparcia płatwi, wyrównywały niedokładne poziomy główic słupów.

W konstrukcji dachu nie zastosowano łożysk dachowych połaciowych. Powinny istnieć również łożyska pionowe usztywniające dźwigary o rozpiętości 18,00 m, a których w tym obiekcie zabrakło. Zgodnie z normą [4] łożyska pionowe należy zastosować w rozstawie co 15,00 m.

Zbadano również wszystkie główne elementy konstrukcji hali „H”. Usterki i nieprawidłowości konstrukcji hali „H” były nieliczne. Pręty kratowych płatwi i dźwigarów były zgodne z projektowanymi. Połączenia spawane poszczególnych elementów można było uznać za poprawnie wykonane.

Stężenia pionowe łączące pary płatwi, które pokazano na rysunku 6, nie usztywniały w wymagany sposób konstrukcji. Poziome pręty łożyska wykonano z ceownika U65, a pręty ukośne z kątowników L50 x 50 x 5.



Rys. 6. Stężenia pionowe w hali „H” łączące pary płatwi. łożyska pionowe, uzupełnione dodatkowymi prętami

Zaprojektowane pręty skratowania łożysk o długości  $l=3,42$  m i smukłości  $l=348 > 250$  nie mogą przejmować żadnych sił ściskających.

## 6. Analiza nośności elementów konstrukcji hal „G” i „H”

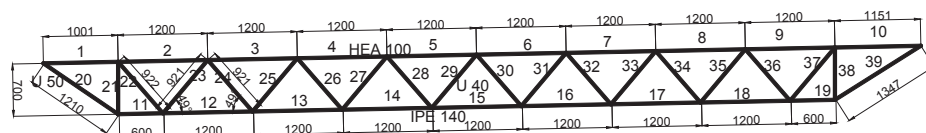
Dostarczone dokumenty, dotyczące zawalenia się dachu nawy hali „G”, w części oznaczonej na rzucie między rzędami słupów „P” i „S” nie ułatwiły dokonania oceny nośności i podania przyczyn katastrofy. W czasie przystąpienia do opracowania opinii dotyczącej zaistniałej katastrofy, zniszczona część hali została odbudowana, a po katastrofie nie było już śladu.

Wykonano dokładną analizę statyczno-wytrzymałościową elementów i połączeń, umożliwiającą dokonanie wymaganej oceny. Geometrię płatwi zawałonej nawy pokazano na rysunku 7.

Konieczność podania przyczyn katastrofy i oceny nośności konstrukcji podczas dalszego użytkowania, wymusiła rozważenie następujących układów obciążeń i rozwiązań konstrukcji:

A) Nośność płatwi dla rozwiązania konstrukcji podanego przez projektantów (z zastosowaniem prętów skratowania płatwi z U40 x 35 x 6 x 5):

- przy równomiernym obciążeniu śniegiem,
- przy obciążeniu śniegiem z „workiem śnieżnym” (efekt wiatru).



Rys. 7. Geometria kratowej płatwi dachowej

B) Nośność płatwi dla istniejącego rozwiązania konstrukcji (z zastosowaniem prętów skratowania płatwi z C40 x 20 x 5 x 5):

- a) przy równomiernym obciążeniu śniegiem konstrukcji,
- b) przy obciążeniu śniegiem z „workiem śnieżnym” (efekt wiatru).

C) Nośność płatwi istniejącej przy obciążeniu tylko ciężarem własnym konstrukcji i pokrycia.

Zestawienie wykonanej analizy jest następujące:

Przypadek Aa	ściskany pręt 23	$\frac{\sigma}{f_d} = \frac{245,4}{215} = 1,14 > 1,0$
	rozciągany pręt 39	$\frac{\sigma}{f_d} = \frac{218}{215} = 1,01 \approx 1,0$
Przypadek Ab	ściskany pręt 23	$\frac{\sigma}{f_d} = \frac{287}{215} = 1,34 > 1,0$
	rozciągany pręt 20	$\frac{\sigma}{f_d} = \frac{278,8}{215} = 1,30 > 1,0$
	ściskany pręt 5	$\frac{\sigma}{f_d} = \frac{231,25}{215} = 1,08 > 1,0$
	rozciągany pręt 15	$\frac{\sigma}{f_d} = \frac{233,6}{215} = 1,09 > 1,0$
Przypadek Ba	ściskany pręt 23	$\frac{\sigma}{f_d} = \frac{1065,3}{215} = 4,95 > 1,0$
	rozciągany pręt 39	$\frac{\sigma}{f_d} = \frac{370,75}{215} = 1,72 > 1,0$
Przypadek Bb	ściskany pręt 23	$\frac{\sigma}{f_d} = \frac{1246,8}{215} = 5,80 > 1,0$
	rozciągany pręt 20	$\frac{\sigma}{f_d} = \frac{474,0}{215} = 2,20 > 1,0$
Przypadek C	ściskany pręt 23	$\frac{\sigma}{f_d} = \frac{242,4}{215} = 1,13 > 1,0$

Przedstawione wyniki otrzymano przy założeniu zachowania się konstrukcji w stanie sprężystym.

W rozważanych warunkach nośności, szczególnie dotyczy to przekazywania obciążeń przez fałdowe płyty pokrycia, będące belkami dwuprzęsłowymi, na kratowe płatwie, przyjmując uplastycznienie najbardziej wyężonego przekroju belki dwuprzęsłowej, nastąpi wyrównanie momentów zginających, a środkowa reakcja podporowa wyniesie  $V_{pl} = 1,172$  kN zamiast  $V_{spr.} = 1,25$  kN. Stosunek tych wartości wynosi  $1,172/1,25 = 0,9376$ .

W przypadku C) po uplastycznieniu płyt, nośność pręta ściskanego nr 23 wyniesie:

$$\frac{\sigma}{f_d} = 1,13 \times 0,9376 = 1,06$$

zatem przyjęto, że

$$\frac{\sigma}{f_d} \approx 1,0$$

Można przyjąć, że wszystkie rozważane przypadki nośności zmieniają się w stosunku do mnożnika liczbowego 0,9376.

## 7. Podsumowanie

Bezpośrednią przyczyną zawalenia się płatwi części dachu hali „G” było obciążenie ciężarem własnym i ciężarem śniegu konstrukcji o niewystarczającej nośności. Z dokumentów, które zostały sporządzone po katastrofie (oświadczenia świadków) wynikało, że istniejące obciążenie śniegiem nie przekroczyło obciążenia normowego. Nośność płatwi była wystarczająca przy obciążeniu tylko ciężarem stałym konstrukcji dachu.

Po przeanalizowaniu dostarczonych przez Inwestora i projektantów dokumentów stwierdzono, że proces budowlany był prowadzony wadliwie. Projektanci i Inwestor nie dysponowali projektem technicznym (budowlanym) zawierającym obliczenia statyczno-wytrzymałościowe, rysunki projektowe i wykaz stali. Zgodnie z dostarczonym projektem, skratowania płatwi należało wykonać z nietypowego kształtownika walcowanego o przekroju ceowym oznaczonym, jako „U40”. Wykonawca konstrukcji zrozumiał, że jest to stosowany powszechnie w kraju kształtownik ceowy „C40” o wymiarach C40 x 20 x 5 x 5. W projekcie należało oznaczyć kształtownik jako U40 x 35 x 6 x 5. Zgodnie z Prawem budowlanym [5] art. 20 ust. 2, projekt techniczny należało sprawdzić, co nie zostało w tym przypadku zrobione. W projekcie również nie podano gatunku stali, z jakiej należy wykonać konstrukcję. Według [1] należało wykonać badania i odbiór wykonania konstrukcji z udziałem stron oraz sporządzić protokół odbioru, również nie było dokumentów potwierdzających te czynności. Realizując przepisy normowe i Prawa budowlanego nastąpiłoby wyeliminowanie powstałych błędów. Stan techniczny konstrukcji hali „G” stanowił zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi, w przypadku obciążenia dachu śniegiem. Zalecono niezwłoczne wzmocnienie płatwi części wysokiej dachu hali „G” i zanim nie zostało to wykonane, należało nie dopuścić do obciążenia śniegiem. Zalecono również wykonanie pionowych tężników dźwigara o rozpiętości 18,00 m w hali „G”.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-B-06200:2002: Konstrukcje stalowe budowlane. Warunki wykonania i odbioru. Wymagania podstawowe
- [2] PN-64/B-01043: Rysunek konstrukcyjny budowlany. Konstrukcje stalowe
- [3] PN-EN 45014: Ogólne kryteria deklaracji składane przez dostawcę
- [4] PN-90/B-03200: Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [5] Prawo budowlane. Ustawa z 7 lipca 1994 r.
- [6] Matysiak A., Grochowska E., Ekspertyza dotycząca przyczyn zawalenia części konstrukcji dachu hali magazynowej wykonana w Instytucie Budownictwa Uniwersytetu Zielonogórskiego
- [7] PN-B-01040: Rysunek konstrukcyjny budowlany. Zasady ogólne
- [8] Matysiak A., Grochowska E., Wpływ błędów procesu budowlanego na awarię konstrukcji dachu hali, W: Awary budowlane: zapobieganie – diagnostyka – naprawy – rekonstrukcja: XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna. Szczecin – Międzyzdroje, Polska, 2013 – Szczecin: Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego