



ANTONI MATYSIAK, *antoni.matysiak@interia.pl*
ELŻBIETA GROCHOWSKA, *E.Grochowska@ib.uz.zgora.pl*
Uniwersytet Zielonogórski

WPLYW BŁĘDÓW PROCESU BUDOWLANEGO NA AWARIĘ KONSTRUKCJI DACHU HALI

THE IMPACT OF ERRORS OF THE CONSTRUCTION PROCESS ON THE BREAKDOWN OF THE ROOF CONSTRUCTION OF THE HALL

Streszczenie W referacie opisano, jaki wpływ miały błędy powstałe w procesie budowlanym, w szczególności na etapie projektowania obiektu halowego, na nośność i użytkowanie konstrukcji. W opisywanym obiekcie, w okresie zimowym, nastąpiło zawalenie jednej z naw hali magazynowej. Przeprowadzono analizę dostarczonej dokumentacji projektowej obiektu, wykonano badania oraz pomiary inwentaryzacyjne istniejącej konstrukcji. Porównano je z dostarczoną dokumentacją. Na tej podstawie wykonano analizę statyczno-wytrzymałościową elementów i połączeń, umożliwiającą dokonanie wymaganej oceny konstrukcji i sformułowanie wniosków końcowych.

Abstract The paper describes, what impacts have the construction process errors, on the load carrying capacity and the use structure. In particular at the stage of designing the object. In this object, in the winter period, there has been a collapse of one of the aisles hall. Analysis of the design documentation has been supplied object and measurements of the existing structure. Compares them with the supplied documentation. On this basis, make the static analysis and strength for elements and connections. This enable make evaluate structure and phrase finally conclusion.

1. Wprowadzenie

Na awarie czy katastrofy budowlane ma wpływ wiele czynników, a w ich wyniku może nastąpić zniszczenie całego obiektu lub jego części. Należą do nich między innymi błędy projektowe, błędy podczas wykonywania obiektu, nieodpowiednie użytkowanie obiektu lub czynniki losowe, spowodowane działaniem natury, np. silne wiatry, obfite opady śniegu czy powódzie. Niekiedy zdarzają się sytuacje, że cały proces budowlany jest wadliwy, począwszy od etapu projektowania. Odpowiedzialność wówczas spada na poszczególne jednostki, uczestniczące w procesie budowlanym.

W referacie opisano katastrofę obiektu halowego, która wystąpiła w części magazynowej obiektu, którego fragment elewacji frontowej pokazano na rys. 1. Obiekt składa się z dwóch hal, które będą nazywane w dalszej części referatu halami „H” i „G”.

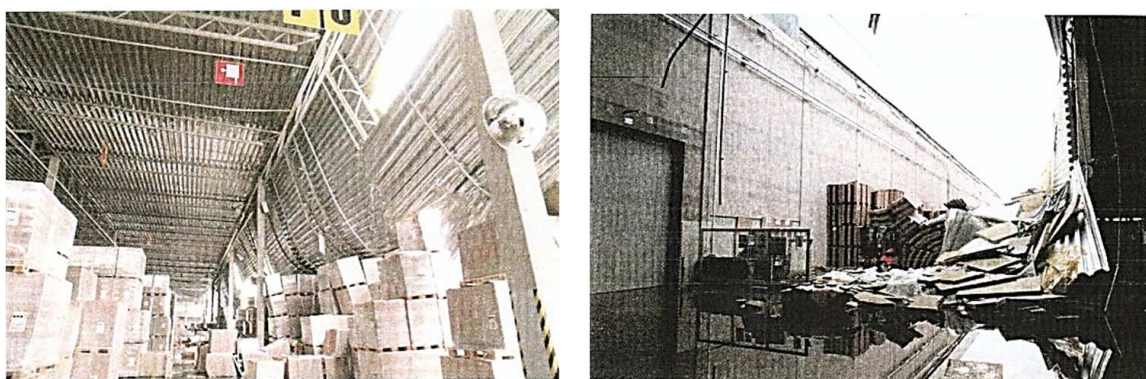
Zimą w roku 2011 nastąpiło zawalenie jednej nawy hali „G”, co pokazano na rys. 2. Halę magazynową „G” zaprojektowano w 2001 roku. Przewidziano dalszą rozbudowę obiektu i wykonano halę „H”. Hala „H” w planach rozbudowy miała być halą niższą. W rzeczywistości wykonano halę „H” wyższą od hali „G”, jak pokazano na rys. 3.

Zniszczeniu uległa nawa oznaczona na rys. 3 jako nawa nr I, nawa nr II została częściowo uszkodzona.



Rys. 1. Część elewacji frontowej na styku hali „H” i „G”

W miejscu różnicy wysokości budynków wystąpił efekt wiatru i odpowiednie przemieszczanie śniegu, powodujące zwiększenie obciążenia, w stosunku do projektowanego.

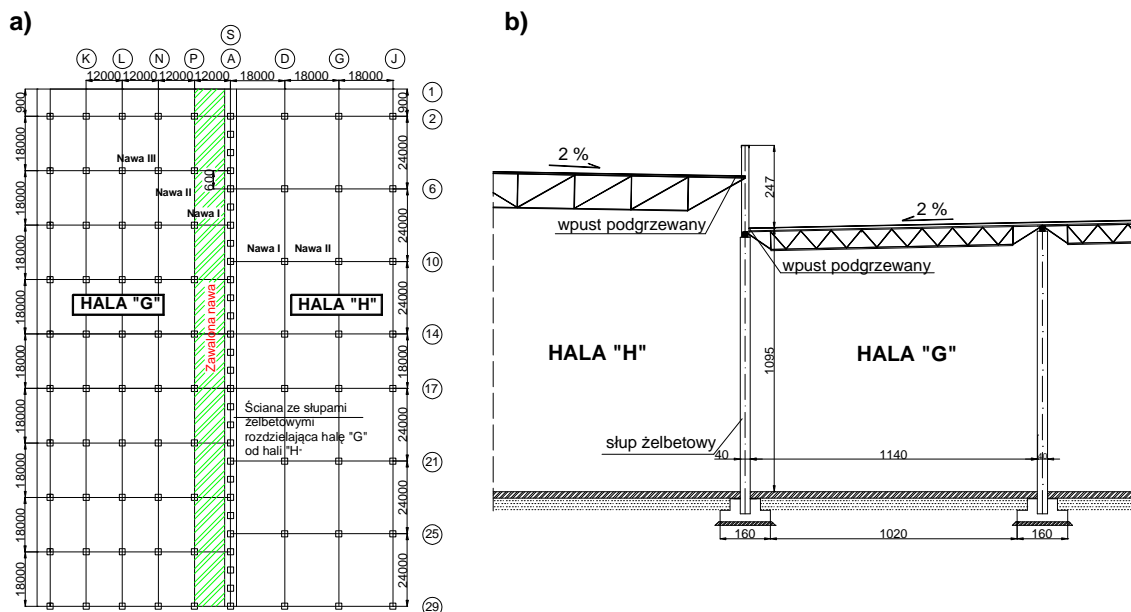


Rys. 2. Zawalona nawa obiektu magazynowego, przed i po demontażu elementów nośnych dachu.

2. Opis obiektu

Wymiary w rzucie hali „G” wynoszą $108,00 \times 191,12$ m. Słupy mają wysokość 8,90 m, a siatka słupów hali wynosi $18,00 \times 12,00$ m. Słupy są żelbetowe prefabrykowane o wymiarach przekroju 40×40 cm. Słupy oparto na żelbetowych fundamentach o wymiarach w rzucie 160×160 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 rys. 3 pokazano fragment rzutu hal „G” i „H” oraz przekrój poprzeczny na styku hal.

Ogólny opis hali „H” jest taki sam jak hali „G”. W części głównej hali siatka słupów wynosi $18,00 \times 24,00$ 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. Pokrycie jest identyczne jak w hali „G”. Żelbetowe prefabrykowane słupy o przekroju 50×80 cm są zamocowane w fundamentach żelbetowych o wymiarach 160×160 cm.



Rys. 3. a) Rzut hal „G” i „H”. b) Przekrój przyległych naw hali „G” i „H”

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

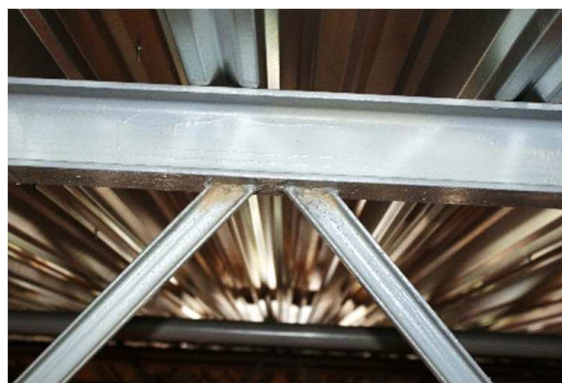
Projektanci hali oświadczyli, że po zimie 2009/2010 stwierdzono porozgniatane blachy poszycia dachu, w nawie I, w paśmie 3,0 m na styku z halą wyższą „H”. Stwierdzono również, że od czasu wybudowania hali „H” nie podgrzewano wpustów dachowych odprowadzających wodę z dachu. Dach naprawiono bez udziału projektanta w ten sposób, że dołożono dodatkową blachę T135/1,15 mm. W oświadczeniu stwierdzono również, że położono do czterech warstw papy. Oceniono, że stałe obciążenie zwiększono o 0,35 kN/m². Dodatkowe warstwy blachy i papy wyżej opisane, nie zostały nigdzie udokumentowane.

Projektanci, wykonujący na zlecenie Inwestora projekty hal, dysponowali tylko projektami powykonawczymi, nie było w dokumentach projektów technicznych konstrukcji, obliczeń statycznych, rysunków projektowych. Oceniono, że dostarczone materiały, to prawdopodobnie osteplowany projekt techniczny z napisem, że jest to projekt powykonawczy. Projekt powykonawczy powinien zawierać naniesione zmiany w stosunku do projektu technicznego, co nie zostało zrobione.

Dostarczony 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 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 połaciowych i tężników pionowych. W opisie technicznym podano, że rolę tężników połaciowych spełnia zastosowana blacha fałdowa o wysokości fali 127 mm i grubości 0,75 mm. Blacha fałdowa nie zastąpi tężników, bez odpowiedniego mocowania tej blachy z konstrukcją, co również nie zostało podane.



Rys. 4. Połączenie blachy fałdowej z pasem górnym płatwi kratowej



Rys. 5. Zastosowane pręty skratowania C40x20x5x5 w płatwi dachowej

Rysunek konstrukcji płatwi hali „G” miał następujące usterki: pręty skratowania wykonane z kształtowników walcowanych o przekroju ceowym, nie były usytuowane symetrycznie względem płaszczyzny kratownicy i nie podano pełnych wymiarów ceownika. Projektanci hali stwierdzili, że na niesymetryczne rozłożenie prętów skratowania płatwi nie mieli wpływu, nie uzasadniając dokładnie, co mają na myśli. Na rysunku 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.

W dokumentacji powykonawczej (projektowej) stalowej konstrukcji hali nie było ważnych informacji, jakie powinny być zamieszczone, i które są potrzebne w każdym etapie realizacji elementów i obiektu.

5. Wyniki wykonanych badań na obiekcie

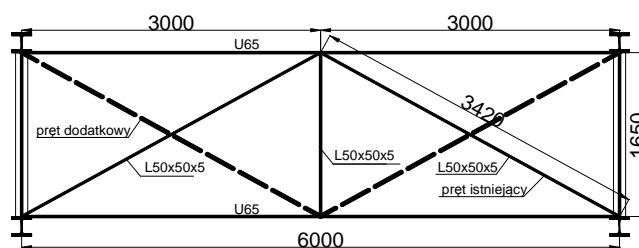
Ze względu na brak podstawowych informacji, które powinny być zawarte w projekcie budowlanym, a których nie było, należało podczas wizji lokalnej ustalić stan faktyczny, wykonać badania oraz pomiary inwentaryzacyjne istniejącej konstrukcji. Wyniki wykonanych badań, dotyczące hali „G”, były następujące: 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. 4), a poszczególne arkusze blachy były wzajemnie łączone jednostronnymi nitami rozstawionymi, co około 50,0 cm.



Rys. 6. Oparcie płatwi na dźwigarze głównym

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 U40×35×6×5. Najprawdopodobniej, wykonawca konstrukcji odczytał oznaczenie na rysunkach konstrukcji, że chodzi o kształtownik produkowany w hutach w Polsce, stosowany w naszym kraju powszechnie i znajdujący się w katalogach z oznaczeniem również C (U) 40. Jednak ten zastosowany kształtownik ma następujące wymiary C40×20×5×5, co pokazano na rys. 5. Pole przekroju poprzecznego ma mniejsze, a smukłość ma większą. Zastosowane pręty o większej smukłości są bardziej narażone na odkształcenie mechaniczne w czasie wykonywania konstrukcji.



Rys. 7. Stężenia pionowe w hali „H” łączące pary płatwi. Tężniki pionowe, uzupełnione dodatkowymi prętami

Spoiny łączące pręty płatwi, typu pachwinowego, zostały wykonane poprawnie.

Sposób oparcia płatwi na dźwigarze o rozpiętości 18,00 m, pokazano na rys. 6. Sposób oparcia w poszczególnych 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 na słupach hali poziomów. Wykonane podpórki, w miejscach oparcia płatwi, wyrównywały niedokładne poziomy główic słupów.

Sprawdzono również spadek połaci dachu. Istniejący spadek dachu, w przybliżeniu był zgodny z projektowanym i wynosił około 2,0%.

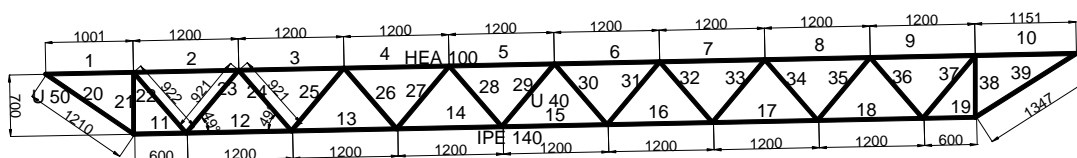
W konstrukcji dachu nie zastosowano łańcuchów dachowych połaciowych. Powinny istnieć również łańcuchy pionowe usztywniające dźwigary o rozpiętości 18,00 m, a których w tym obiekcie zabrakło. Zgodnie z normą [4] łańcuchy pionowe należy zastosować w rozstawie, co 15,00 m.

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 rys. 7, nie usztywniały w wymagany sposób konstrukcji. Poziome pręty łańcucha wykonano z ceownika C65, a pręty ukośne z kątowników L50×50×5. Zaprojektowane pręty skratowania łańcuchów o długości 3,42 m i smukłości 348 nie mogą przejmować żadnych sił ściskających.

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

Dostarczone dokumenty, dotyczące zawalenia się dachu nawy I 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.



Rys. 8. Geometria kratowej płatwi dachowej

Wykonano badania oraz pomiary inwentaryzacyjne istniejącej konstrukcji. Porównano je z dostarczoną dokumentacją. Na tej podstawie wykonano analizę statyczno-wytrzymałościową elementów i połączeń, umożliwiającą dokonanie wymaganej oceny.

Po wykonaniu inwentaryzacji konstrukcji stwierdzono, że skratowanie płatwi jest wykonane z elementów znacznie różniących się od projektowanych. Geometrię płatwi pokazano na rys. 8.

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 U40×35×6×5):
- przy równomiernym obciążeniu śniegiem,
 - przy obciążeniu śniegiem z „workiem śnieżnym” (efekt wiatru).
- B) Nośność płatwi dla istniejącego rozwiązania konstrukcji (z zastosowaniem prętów skratowania płatwi z C40×20×5×5):
- przy równomiernym obciążeniu śniegiem konstrukcji,
 - obciążenia śniegiem z efektem wiatru.
- c) Nośność płatwi istniejącej przy obciążeniu tylko ciężarem własnym konstrukcji i pokrycia.

Zestawienie wykonanej analizy jest następujące:

Przypadek A a): ściskany pręt 23:
$$\frac{\sigma}{f_d} = \frac{245,4}{215} = 1,14 > 1,0$$

$$\text{rozciągany pręt 39: } \frac{\sigma}{f_d} = \frac{218}{215} = 1,01 \cong 1,0$$

$$\text{Przypadek A b): ściskany pręt 23: } \frac{\sigma}{f_d} = \frac{287}{215} = 1,335 > 1,0$$

$$\text{rozciągany pręt 20: } \frac{\sigma}{f_d} = \frac{278,8}{215} = 1,3 > 1,0$$

$$\text{ściskany pręt 5: } \frac{\sigma}{f_d} = \frac{231,25}{215} = 1,08 > 1,0$$

$$\text{rozciągany pręt 15: } \frac{\sigma}{f_d} = \frac{233,6}{215} = 1,09 > 1,0$$

$$\text{Przypadek B a): ściskany pręt 23: } \frac{\sigma}{f_d} = \frac{1065,3}{215} = 4,95 > 1,0$$

$$\text{rozciągany pręt 39: } \frac{\sigma}{f_d} = \frac{370,75}{215} = 1,72 > 1,0$$

$$\text{Przypadek B b) ściskany pręt 23: } \frac{\sigma}{f_d} = \frac{1246,8}{215} = 5,8 > 1,0$$

$$\text{rozciągany pręt 20: } \frac{\sigma}{f_d} = \frac{474,0}{215} = 2,2 > 1,0$$

$$\text{Przypadek c): ściskany pręt 23: } \frac{\sigma}{f_d} = \frac{242,4}{215} = 1,13 > 1,0$$

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 wyciążonego 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:

$$\frac{\sigma}{f_d} = 1,13 \cdot 0,9376 = 1,06, \text{ przyjmujemy, że } \frac{\sigma}{f_d} \cong 1,0.$$

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.

Proces budowlany był prowadzony wadliwie. Projektanci i Inwestor nie dysponowali projektem technicznym (budowlanym) zawierającym obliczenia statyczne, rysunki projektowe i wykaz stali. Zgodnie z dostarczonym projektem, skratowania płatwi należało wykonać z nietypowego kształtownika walcowanego o przekroju ceowym oznaczonym „U40”. Wykonawca konstrukcji zrozumiał, że jest to stosowany powszechnie w kraju kształtownik ceowy „C40” o wymiarach C40×20×5×5. W projekcie należało oznaczyć kształtownik jako U40×35×6×5.

Zgodnie z Prawem budowlanym [5] art. 20 ust. 2, projekt techniczny należało sprawdzić, co nie zostało zrobione. W projekcie 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.

Art. 20 Prawa budowlanego zobowiązuje projektanta, na żądanie Inwestora do prowadzenia nadzoru autorskiego.

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 przed wzmocnieniem. Zalecono również wykonanie pionowych tężników dźwigara o rozpiętości 18,00 m w hali „G”.

Literatura

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 dnia 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.