



Prof. dr hab. inż. Roman KINASZ
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

ANALIZA PRZYCZYŃ KATASTROFY KONSTRUKCJI STALOWEJ DACHU HALI PRZEMYSŁOWEJ

THE ANALYSIS OF THE REASONS OF FAILURE OF STEEL DESIGNS OF A COVERING OF AN INDUSTRIAL BUILDING

Streszczenie W referacie omówiono wyniki badania przyczyn katastrofy oraz przeprowadzono analizę wytrzymałości i sztywności konstrukcji stalowych dachu hali przemysłowej, wartości obciążenia stałego i od śniegu oraz przyczyny i skutki katastrofy. Podstawową przyczyną katastrofy konstrukcji dachu było nie spełnienie warunków stanów granicznych belek stalowych z winy projektantów.

Wyniki przeprowadzonych obliczeń pokazały że wartości wyężeń w podciągach dachu były większe od nośności obliczeniowej ponad 3 razy, natomiast odkształcenia tych elementów przekroczyły wartości graniczne sześciokrotnie. Obciążenie od śniegu na dachu było 1,6 razy większe od przewidzianego w aktualnej normie, co „sprzyjało” ujawnieniu dopuszczonych błędów.

Abstract In article results of researches and the analysis of durability and of dimensional instability steel designs of a covering of the industrial case, and also constant and snow loading on them are presented. The Principal cause collapse designs of a covering was insufficient durability and dimensional instability beams of a covering on fault of the design organization.

As a result of calculations it is established, that pressure in a beam of a covering exceeded settlement resistance of steel in 3 times, and the deflection of a beam was more than normative value in 6 times. Snow loading which exceeded settlement value in 1,6 times "has allowed" to reveal a committed mistake.

1. Wprowadzenie

Uogólniona analiza awarii i katastrof [1] praktyki światowej budownictwa wskazuje, że podstawowymi przyczynami były:

- błędy popełnione w czasie projektowania – 27%,
- niska jakość konstrukcji – 23%,
- złe wykonawstwo – 30 %,
- zła eksploatacja – 14 %,
- złe normy i wytyczne projektowania – 6 %.

Bardzo wiele pouczających przypadków awarii i katastrof podanych w monografiach [2, 3], artykułach i referatach na konferencjach [4, 8] przyczyniają się do unikania błędów, podnoszenia kwalifikacji oraz podnoszenia jakości projektowania, realizacji i eksploatacji konstrukcji budowlanych, a także doskonalenia norm i wytycznych projektowania.

W artykule przedstawiono wyniki badań i analiz nośności, wyężenia, bezpieczeństwa ustroju nośnego oraz oceny zastosowanych rozwiązań konstrukcji stalowych dachu hali przemysłowej. Rano 25 lutego 1996 r. w czasie intensywnego opadu śniegu, który występował we Lwowie

od 23 do 25 lutego uległa katastrofie część dachu hali przemysłowej (rys.1). Podczas katastrofy warstwa śniegu na gruncie stanowiła ponad 50 cm wg danych Stacji Meteorologicznej a zgromadzenie znacznej warstwy śniegu na dachu hali przemysłowej spowodowało runięcie sześciu wiązarów dachowych FSC-2 w nawach C-D i D-E pomiędzy osiami 13-17 oraz belki stalowej PB – 1 po osi D, która była zmontowana w osiach 13-17 (rys.2, 3).



Rys.1. Widok hali przemysłowej we Lwowie po katastrofie konstrukcji dachu

2. Ocena rozwiązań konstrukcji nośnej hali

Budowlę hali przemysłowej nr 1 Fabryki Budowy Maszyn przy ul. Zielonej we Lwowie ukończono w 1989 roku. Projekt hali wykonał Instytut „HIPROPROM” w Woronieżu (obecnie w Rosji) montaż - firma „Energopol”. Przy wykonaniu projektu hali zostały wykorzystane rozwiązania konstrukcyjno-montażowe zgodnie z Katalogiem Serii Projektów Typowych 1.460.3 – 14 [5].

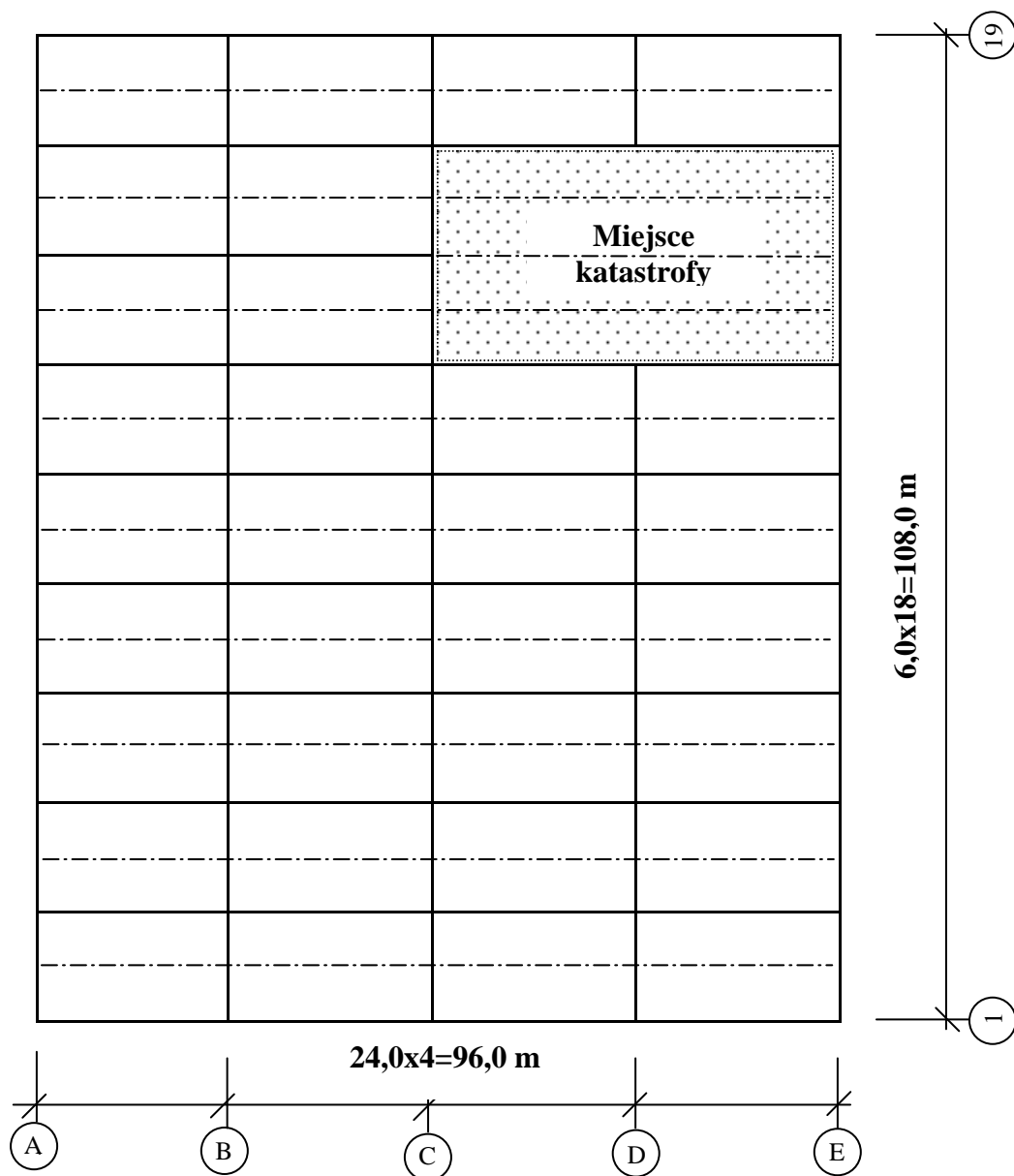
W dokumentacji projektowej schemat konstrukcji hali przyjęto jako szkieletowy budynek przemysłowy parterowy, czteronawowy prostokątny w rzucie - posiadał on szerokość 96 m oraz długość – 108 m. W konstrukcji hali rozstaw słupów wynosił 24 m, a rozstaw wiązarów 6,0 m (rys.2 i rys.3).

Projekt przewidywał, że w każdej nawie znajdą się suwnice o udźwigu od 10 do 160 kN.

Konstrukcja dachu była wykonana z blach wysokofałdowych stalowych ocieplonych płytami z wełny mineralnej i pokrytych izolacją przeciwwodną w postaci czterech warstw papy asfaltowej izolacyjnej.

Na dachu w każdej nawie między osiami nieparzystymi 3 – 5, 5 – 7, 7 – 9 przewidziano świetliki dachowe o wymiarach 3x4 m w rzucie poziomym.

Przyjęto jako podstawową konstrukcją nośną szkielet stalowy. Rozstaw stalowych słupów pełnościennych o stałym przekroju ze wspornikami w osiach skrajnych wynosił 6,0 m oraz 12,0 m w osiach środkowych, natomiast wysokość słupów hali - 12,8 m.



Rys.3. Schemat konstrukcji nośnej dachu hali przemysłowej we Lwowie

Konstrukcją nośną dachu hali pomiędzy osiami 1–3 oraz 17–19 były wiązary stalowe kratowe typu FS–1 (wg Katalogu Projektu Typowego [5] są to wiązary typu FS – 24-1,8), na pozostałej części dachu, czyli pomiędzy osiami 3–17 zamontowano wiązary typu FS–2 (typ FS – 24-1,5 wg [5]). Rozstaw wiązarów dachowych w obrębie całego dachu wynosił 6,0 m.

Według Katalogu Projektu Typowego [5] wiązary dachowe wykonano z rur o przekroju prostokątnym. W kierunku wzdłużnym naw hali każde trzy wiązary sąsiednie zostały połączone ze sobą stężeniami pionowymi podłużnymi na odległości 6,0m od podpór wiązarów.

Wiązary dachowe w skrajnych osiach hali A i E oparte zostały na podciągach stalowych pełnościennych o przekroju dwuteowym typu PB-1 (wg [5] są to belki typu PB-12-34) o długości 12,0 m oparte na trzech słupach szkieletu, tworząc zginany element dwuprzęsłowy z przęsłami po 6,0m.

W rzędach środkowych B, C oraz D dźwigary kratowe oparte zostały na stalowych podciągach kratowych o długości 12,0 m typu PF-12-37 (pomiędzy osiami 1–3 oraz 17–19) oraz typu PR-12-30, które zamontowane zostały na słupach pomiędzy wszystkimi pozostałymi osiami hali (oprócz osi 13-17).

Pomiędzy osiami 7-9 w osiach środkowych B, C oraz D hali więzary kratowe wg dokumentacji projektowej oparte zostały na podciągach pełnościennie typu PB-12-34 podobne jak montowane w osiach skrajnych. Te ostatnie typy belek zaprojektowano jak jednoprzęsłowe wolnopodparte o rozpiętości 12,0 m.

Z przedstawionej analizy konstrukcyjnej wynika, że w dokumentacji projektowej został popełniony poważny błąd, który spowodował katastrofę dachu hali przemysłowej pomiędzy osiami C-E i 13-17 w dwóch nawach o szerokości 24,0 m.

3. Ocena wytrzymałości i sztywności elementów konstrukcji hali

W celu sprawdzenia wytrzymałości i odkształcalności podciągu PF-12-34, który był zmontowany po osi D i runął wykonano obliczenie dwóch wariantów wg Normy [6]:

- 1) uwzględniając obciążenia przyjęte według Katalogu Projektu Typowego 1.450.3-14,
- 2) uwzględniając faktyczne obciążenia działające w czasie katastrofy.

W obu przypadkach przyjęto do obliczeń model podciągu jako belki jednoprzęsłowej, wolnopodpartej o rozpiętości 12,0m. Obciążenie śniegiem według Normy [7] dla regionu lwowskiego przy obliczeniach wynosiło: charakterystyczne - $0,5 \text{ kN/m}^2$ oraz obliczeniowe - $0,5 \times 1,4 = 0,7 \text{ kN/m}^2$.

Faktyczne wartości obciążeń pochodzące od śniegu (na podstawie badań i analizy ustalono, że średnia grubość warstwy śniegu na dachu wynosiła około 40 cm co odpowiadało $1,10 \text{ kN/m}^2$), występujące podczas katastrofy podają wykresy na rys. 2.

Podciągi pełnościennie PB-12-34 były wyprodukowane ze stali marki 09G2 o wytrzymałości obliczeniowej 350 MPa.

W wyniku obliczeń wariantu 2 maksymalne naprężenia w podciągach wynosiły 766 MPa. Świadczy to o tym, że przekroczenie ich nośności wyniosło 2,2 razy, a zatem warunek wytrzymałość podciągów nie był spełniony.

Sprawdzenie warunków sztywności podciągu wykazało, że faktyczna wartość ugięcia belki PB-12-34 wyniosła 19,5 cm, a wartość względna f/l (gdzie: f – oznacza ugięcie belki, l – rozpiętość elementu) – $1/60$, co znacznie przekracza wartość ugięcia granicznego która według Normy SNiP [6] dla belek i więzarów dachu nie powinna przekraczać $1/250$. Zatem warunek sztywności podciągu też nie był spełniony.

Ekstremalne obciążenie od śniegu, które utworzyło się podczas katastrofy było przyczyną dodatkowych znacznych odkształceń (ugięć) podciągów PB-12-34 w osiach środkowych B, C oraz D hali, a te z kolei spowodowały rozciągnięcie i zniszczenie śrub montażowych na podporach jednego z podciągów (podciągu w rzędzie po osi D) oraz jego runięcie razem z więzarami dachowymi.

Na podstawie wykonanych analiz nośności i wyężenia można stwierdzić, że faktyczne obciążenia podciągów kratowych PF-12-30 znacznie przekroczyły wartości obliczeniowe obciążeń według Katalogu Projektu Typowego 1.460.3-14, a wytrzymałość podciągu kratowego PF-12-34 jest wyższa od wytrzymałości podciągu pełnościennego PB-12-30. Oznacza to, że wyężenia normalne podciągów przekroczyły wytrzymałość obliczeniową stali 3,2 razy, a ugięcie podciągu było wyższe od wartości granicznej sześciokrotnie.

W takim przypadku podciąg pełnościenny PB-12-34 absolutnie nie mógł być wykorzystany w postaci podciągu kratowego PF-12-30 na tym i polegał błąd projektantów.

Pomiędzy osiami 7-9 projektanci przewidzieli stężenia pionowe w płaszczyznach słupów hali. W ten sposób nie zastosowali się do zaleceń podanych na stronie 24 Katalogu Projektu Typowego 1.460.3-14 [5], a mianowicie: dla budynków przemysłowych z suwnicami podpartymi poleca się przyjmować schemat konstrukcyjny bez stężeń powyżej

belek podsuwnicowych oraz projektować stężenia pionowe słupów w części podsuwnicowej oraz w części nadsuwnicowej.

Stężenia te przeszkadzały rozmieszczeniu pomiędzy słupami w osiach 7-9 podciągu kratowego typu PF-12-30. Prawdopodobnie też został błędnie zaprojektowany w tym miejscu podciąg pełnościenny typu PB-12-34, który ma znacznie mniejsze wymiary wysokości od podciągu kratowego PF-12-30.

Podciągi pełnościenne typu PB-12-34 w stanie awaryjnym w osiach C i D z ugięciami ponadgranicznymi o wartości 100-120 mm zostały wzmocnione poprzez zmiany schematu konstrukcji z poprzednim zmniejszeniem ugięcia podciągu do 60%.

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych i analizy obliczeniowej podciągów oraz wiązarów dachowych hali przemysłowej można sformułować wniosek, że katastrofa konstrukcji stalowych dachu hali powstała głównie z winy projektantów.

Katastrofa wystąpiła w wyniku przekroczenia nośności podciągu głównego, a następnie wiązarów dachowych części dachu.

W wyniku obliczeń wykazano, że obciążenie stałe od ciężaru własnego konstrukcji dachu hali przemysłowej wywołało naprężenia normalne, które przekroczyły wytrzymałość obliczeniową stali podciągu ponad 1,5-krotnie, a ugięcia faktyczne przekroczyły wartość graniczną dwukrotnie.

Obciążenie śniegiem, które przekroczyło wartość obliczeniową dla danego regionu 1,6-krotnie „sprzyjało” ustaleniu dopuszczonego błędu.

Literatura

1. Добромыслов А.Н.: Анализ аварий промышленных зданий и инженерных сооружений // Промышленное строительство, №9, 1990. – с.9-10.
2. Augustyn J., Śledziewski E.: Awarie konstrukcji stalowych, Arkady, Warszawa, 1976.
3. Runkiewicz L.: Raport o awariach i katastrofach budowlanych za lata 1973-1993, ITB, Warszawa 1995.
4. Awarie Budowlane.: Konferencja naukowo-techniczna, Szczecin- Międzyzdroje lata 2000-2005.
5. Katalog Projektu Typowego 1.460.3-14 (Типовой проект серии 1.460.3-14 “Стальные конструкции покрытий производственных зданий пролетами 18, 24 и 30 м с применением гнутосварных профилей прямоугольного сечения типа ”Молодечно”)
6. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции / Госстрой СССР.- М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988.- 96с.
7. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР.- М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1984.- 75с.
8. Мишко Р.І., Кінаш Р.І.: Про аварію залізобетонної плити покриття / Зб. наукових праць, вип. 51, Київ, 1999. - с.108-110.

Wykonano w ramach pracy własnej nr 10.10.100.961