



Dr inż. Dariusz KOWALSKI, dariusz.kowalski@wilis.pg.gda.pl
Politechnika Gdańska

EKSPLOATACJA OBIEKTU BUDOWLANEGO WERYFIKACJĄ PRAC PROJEKTOWYCH I WYKONAWCZYCH

EXPLOITATION OF BUILDING OBJECT AS THE TEST OF THE DESIGN AND EXECUTIVE WORKS

Streszczenie. W referacie opisano sytuację w jaki sposób zwiększone oddziaływania środowiskowe występujące w okresie zimowym przyczyniły się do powstania uszkodzeń konstrukcji nośnej obiektów budowlanych. Zaistniałe awarie stały się powodem wykonania szczegółowego przeglądu nowej konstrukcji nośnej oraz dodatkowej weryfikacji opracowania projektowego. Prace te ujawniły wiele wad i błędów powstałych na poszczególnych etapach procesu budowlanego.

Abstract. In the paper the effects of the abnormal snow load on structure were described. The snow load caused the damages of the structural elements. This damages were the reason for undertaking the detailed review of the structure and the verification of the design. This works revealed many structural defects which were done on different stages of the building process.

1. Ogólna charakterystyka obiektu

Przy budynku halowym mieszczącym wielobranżowy sklep samoobsługowy zaopatrujący stałych klientów wykonano dwa zadaszenia nad parkingami. Zadaniem obu zadaszeń jest zabezpieczenie klientów przed opadami atmosferycznymi na ciągach komunikacyjnych oraz w trakcie załadunku zakupionych towarów do samochodów osobowych jak i dostawczych. Powierzchnie zadaszeń wynoszą odpowiednio około 900 i 4500 m² przy wysokościach użytkowych 6,8 i 3,9 m. Konstrukcję nośną obu zadaszeń wykonano jako stalową (rys. 1, 2).



Rys. 1. Parking dla samochodów dostawczych



Rys 2. Parking dla samochodów osobowych

Na niej oparte zostały elementy naświetlające przestrzeń pod zadaszeniem oraz blacha trapezowa stanowiąca nieprzezroczystą część przekrycia. Naświetla wykonano w postaci łukowych sklepień o promieniu 1,65 m z profili aluminiowych, których wypełnienie stanowiły pełne przezroczyste płyty akrylowe. Łukowe panele akrylowe zamocowano w objęciu z dwóch uszczeltek gumowych dociskanych profilem aluminiowym punktowo mocowanym na łączniki śrubowe do dolnego łuku nośnego.

Płaskie przykrycia wykonane zostały z blachy trapezowej obustronnie powlekanej 60/235 o grubości 0,88 mm. Blachy te ułożono ze spadkiem 2,5% zapewniającym spływ wód opadowych w kierunku systemowych rynien aluminiowych zlokalizowanych przy naświetlaczach łukowych.

Blacha trapezowa ułożona została na zimnogiętych płatwiach zetowych Z300x2 oraz nadstawkach wiązarów i ryniach nośnych tworząc układ belek ciągłych wieloprzęsłowych.

Konstrukcję wsporczą całego zadaszenia stanowią słupy stalowe o przekroju rurowym, które zostały utwierdzone w kielichach żelbetonowych stóp fundamentowych – długość utwierdzenia 850 mm. Wewnętrzna przestrzeń niektórych rurowych słupów nośnych wykorzystana została do przeprowadzenia rur spustowych odprowadzających wody opadowe z omawianych zadaszeń. Nie przewidziano wykonania otworów rewizyjnych dla zapewnienia dostępu do tych rur nad poziomem nawierzchni parkingu oraz nie zaizolowano ich termicznie wewnątrz słupów.

2. Konstrukcja nośna zadaszeń

Zadaszenia stanowią samodzielne konstrukcje nośne. Konstrukcje zadaszeń parkingów wsparte zostały odpowiednio na 9 i 45 słupach nośnych rozmieszczonych w osiowych rozstawach 12,84 x 15,5 i 12,84 m x 10,62 m. Słupy te wykonano z rur o średnicy 273 mm.

Górne części słupów zwieńczone zostały poprzeczką wykonaną z rury o tej samej średnicy. Poprzeczki te służą jako podparcie kratowych elementów dachu.

Poziome elementy nośne zadaszenia wykonane zostały jako przestrzenne dźwigary kratowe o różnych rozpiętościach: 10,62; 12,84 i 15,50 m. Dźwigary kratownicowe ukształtowano w przekroju na planie trójkąta równobocznego o wymiarach boku 700 mm. Pas górny wykonany został z dwóch rur stalowych, a dolny z jednej. Wykratowanie w poziomie pasów górnych oraz wykratowania ścian bocznych omawianych dźwigarów wykonane zostało z rur o mniejszych średnicach.

Połączenia prętów wykratowania wewnętrznego z pasami wykonane zostały na tak zwany „widelec” z zastosowaniem blach węzłowych. Wszystkie połączenia montażowe zostały zaprojektowane jako śrubowe, z wykorzystaniem w wielu miejscach kołnierzy doczołowych.

W połączeniach tych zastosowano zarówno śruby zwykłe - klasy 4.8 jak wysokiej wytrzymałości – klasy 10.9.

Podporą blachy trapezowej pokrycia były płatwie, wykonane z zimnogiętego zetownika Z300x2. Płatwie połączone ze sobą nad wiązarami kratowymi. Płatwie na długości tworzyły jedną belkę ciągłą, w układzie Gerberowskim – czyli jest to połączenie belek swobodnie podpartych, statycznie wyznaczalnych. Połączenia pomiędzy poszczególnymi płatwiami wykonane na budowie jako przegubowe.

Blacha trapezowa przekrycia zadaszenia stanowiła na długości - pomiędzy kalenicą a rynną - jeden arkusz. Blachę oparto na końcach na rynnie i nastawce oraz, w zależności od zadaszenia, jednej lub dwóch płatwiach jako podporach pośrednich.

3. Opis uszkodzeń konstrukcji zadaszeń

Jako pierwszy uległ awarii wiązาร์ wewnętrzny parkingu niskiego. Uszkodzenie miało miejsce w środkowej części pasa dolnego dźwigara kratownicowego (rys. 3, 4).



Rys. 3. Widok uszkodzonego dźwigara

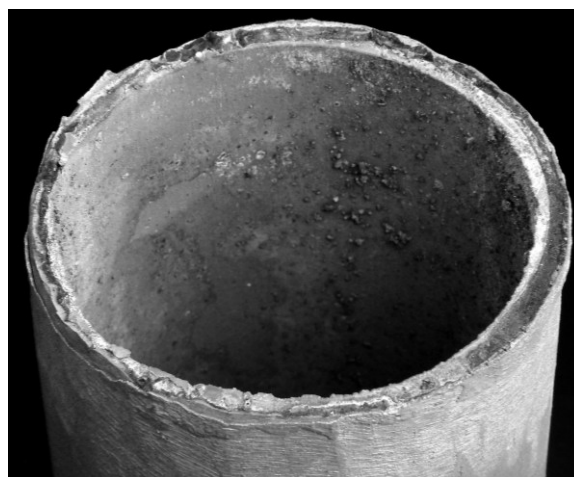


Rys. 4. Uszkodzenie pasa dolnego - zbliżenie

Jak się okazało, rozerwaniu uległo połączenie spawane o bardzo niskiej jakości. Linia pęknięcia połączenia spawanego przechodziła dokładnie przez spoinę doczołową (rys. 5). Powierzchnie rozerwane nie nosiły śladów odkształceń plastycznych. Na podstawie pobieżnej analizy wzrokowej uszkodzonego styku spawanego stwierdzono całkowity brak przetopu łączonych odcinków rur (rys. 6). Powierzchnie doczołowe rur na pewnych fragmentach grubości rur i ich obwodu były skorodowane. Fragmenty spoin, które łączyły te dwa elementy rurowe wykonane zostały tylko przy obwodzie zewnętrznym. Na całym obwodzie połączenia spawanego nie znaleziono ani jednego miejsca o pełnym przetopie grubości materiału elementów łączonych. Rura łącznie z wykonaną „spoiną doczołową” została dodatkowo zeszlifowana na gładko, ze znacznym ubytkiem materiału.



Rys. 5. Widok pękniętego złącza spawanego



Rys. 6. Powierzchnia doczołowa styku spawanego

W tym samym wiązาร์ze uszkodzeniu uległ sąsiedni styk spawany wykonany bezpośrednio pod blachami węzłowymi wykratowania ścian bocznych omawianej kratownicy. Uszkodzony doczołowy styk spawany również cechował się brakiem pełnego przetopu na cały obwód. Na nieprzetopionych fragmentach powierzchni doczołowych rur występowały ślady

ocynkowania. Jak poprzednio, spoina została położna tylko na obwodzie zewnętrznym łączonych fragmentów rury, a następnie jej lico zostało zeszlifowane.

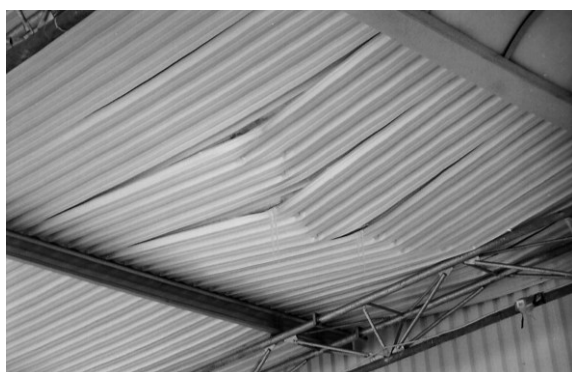
Zalegające na zadaszeniu masy śnieżne w rejonie wejścia do obiektu spowodowały przeciążenie kolejnego wiązara. Jak w poprzednio opisanym przypadku, uszkodzenie wiązara miało miejsce w pasie dolnym, w pobliżu środka jego rozpiętości, a ocena złącza nie odbiegała od już wcześniej opisanych.

W ramach zaistniałych innych uszkodzeń konstrukcji prętowych stwierdzono wyboczenie dwóch prętów wykratowania zlokalizowanych na sąsiednich powierzchniach bocznych dźwigara kratowego (rys. 7).



Rys. 7. Wyboczenia prętów wykratowania ścian bocznych - różne ujęcia

Innym widocznym skutkiem awarii były zniszczenia blach trapezowych. Pod znacznym obciążeniem śniegiem doszło do utraty nośności blach w obszarze zalegania worków śnieżnych. Tylko fakt, że część przegiętych blach trapezowych wsparła się na niżej położonej konstrukcji dźwigarów kratownicowych zapobiegł efektowi zarwania się poszycia zadaszenia (rys. 8 i 9).



Rys. 8. Zniszczenie blach pokrycia - strona lewa



Rys. 9. Zniszczenie blach pokrycia - strona prawa

4. Warunki środowiskowe podczas awarii

Wszystkie przedstawione powyżej uszkodzenia wystąpiły pod koniec okresu zimowego, w marcu 2005 roku. Na powierzchniach zadaszeń zalegały, od ponad dwudziestu dni, grube warstwy pokrywy śnieżnej, które wciąż powiększały się podczas kolejnych opadów oraz silnych zamieci śnieżnych.

W okresie powstania uszkodzeń konstrukcji nośnej grubość pokrywy śnieżnej zalegającej na zadaszeniach była większa niż grubość charakterystyczna dla tej strefy klimatycznej o około 10 %. Wartości grubości pokrywy śnieżnej na obiekcie zostały potwierdzone przez porównawcze informacje uzyskane z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, który w odległości kilku kilometrów posiada swoją stację kontrolno – pomiarową.

Skontrolowany ciężar objętościowy pokrywy śnieżnej zalegającej na obiektach był również o około 10% większy od podanego w normie obciążenia śniegiem [1].

Należy dodać, że w okresie awarii występował silny wiatr wpływający na dodatkowe obciążenie, wywołujący równocześnie zamiecie śnieżne. Temperatury powietrza w czasie powstawania awarii wahały się w okolicach 10 stopni poniżej zera.

5. Przyczyny uszkodzeń konstrukcji

Podstawową przyczyną powstałych awarii dwóch dźwigarów kratowych była niska jakość połączeń spawanych, które uległy zniszczeniu pod wpływem istniejących obciążeń. We wszystkich przypadkach do uszkodzeń doszło w miejscach, gdzie projektant nie przewidział w projekcie wykonawczym wykonania połączeń spawanych. Połączenia takie miały znaleźć się

w sąsiednich polach wykratowania omawianych dźwigarów.

W przypadku wyboczonych prętów wykratowania przyczyną okazał się błąd prefabrykacji dźwigarów, polegający na zastosowaniu rur o mniejszej średnicy do wykonania tych prętów.

Kolejny prezentowany przypadek uszkodzenia awaryjnego spowodowany był przeciążeniem blach pokrycia zalegającymi masami śniegu w obrębie worka śnieżnego. Bezpośrednią przyczyną tego było niedoszacowanie nośności przekroju blach trapezowych w tym rejonie. Świadczył o tym bezpośrednio fakt, że blachy poza obszarem wspomnianego worka śnieżnego oprócz dużego ugięcia sprężystego nie wykazywały żadnych objawów utraty stateczności i nośności.

6. Ogłędziny konstrukcji

Podczas przeglądu pozostałej konstrukcji stwierdzono w wielu miejscach, nie przewidzianych projektem, doczołowe styki spawane rurowych prętów pasów dolnych dźwigarów przestrzennych.

Stwierdzono również zmiany w zakresie średnic rur zastosowanych do wykonania pasa dolnego, jak i wykratowania. W niektórych przypadkach stwierdzono również zmiany ich grubości, co było widoczne na niezaślepionych końcach rur pasów dolnych.

Zastrzeżenia budził fakt nadmiernych ugięć blach trapezowych poszycia, jak i płatwi zimmogiętych.

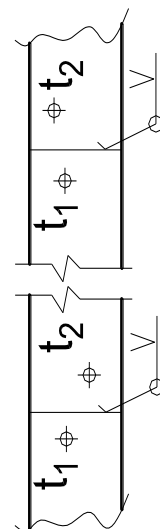
Jakość wykonania uszkodzonych styków spawanych, stwierdzone niezgodności z projektem oraz zaistniała sytuacja dały podstawę do przypuszczeń co do niskiej jakości pozostałych elementów. W związku z powyższym podjęto decyzję o wykonaniu dodatkowych wrywkowych badań kontrolnych obejmujących sprawdzenie jakości spoin, grubości rur oraz materiału, z którego zostały one wykonane. Zdecydowano o potrzebie dodatkowego sprawdzenia opracowania projektowego, które było podstawą wykonania konstrukcji.

7. Badania ultradźwiękowe grubości ścianek rur

Ultradźwiękowe badania grubości ścianek rur pasa dolnego wykonano tylko na wybranych prętach pasa dolnego konstrukcji zadaszania nad parkingiem dla samochodów osobowych. Badanie grubości przeprowadzono po obu stronach spawanych styków doczołowych, które były wytypowane do badań defektoskopowych oceny jakości spoin czołowych. W tabelicy 1 zestawiono wartości pomierzonych grubości z wartościami określonymi w projekcie wykonawczym.

Tablica 1. Zestawienie ultradźwiękowych wyników pomiaru grubości ścianek rur po obu stronach styku

Nr pomiaru	Grubości pomierzona [mm]		Grubość projektowana [mm]		Sposób wykonania pomiaru grubości ścianek rur
	t ₁	t ₂	t ₁	t ₂	
1	11,5	12,4	3,6	4	
2	4,8	4,5	3,6	4	
3	4,4	4,6	4	3,6	
4	4,3	4,6	3,6	4	
5	4,4	4,3	3,6	4	
6	4,0	4,6	4	3,6	
7	4,6	4,7	3,6	4	
8	8,4	4,2	8	4	
9	8,9	4,5	8	4	
10	13,5	8,3	12,5	8	
11	4,3	4,3	4	4	
12	8,9	14,1	8	12,5	
13	11,4	7,6	3,6	4	
14	4,4	5,2	4	4	
15	7,4	4,1	4	3,6	
16	4,6	5,3	3,6	4	
17	5,4	5,1	4	4	
18	5,1	5,5	4	3,6	
19	4,3	4,3	4	4	
20	4,0	4,4	4	4	



Analiza porównawcza pozwoliła stwierdzić, że wykonawca zajmujący się prefabrykacją konstrukcji stalowej użył w kilku miejscach rur o ściankach o znacznie większej grubości niż była zakładana w projekcie. Stwierdzone różnice w grubości pomierzonych ścianek są konsekwencją wykonywania zabezpieczenia antykorozyjnego w postaci ocynkowania konstrukcji, tolerancji wykonania rur w trakcie procesu walcowania oraz dokładności samego pomiaru.

Przedstawione wrywkowe kontrole potwierdziły prawidłowość wykonania zmian grubości rur w procesie prefabrykacji konstrukcji w odniesieniu do projektu wykonawczego.

8. Badania radiograficzne spawanych złączy doczołowych rur

Wytypowano 20 doczołowych styków spawanych do przeprowadzenia nieniszczących badań defektoskopowych. Styki przewidziane do kontroli zlokalizowane były na pasach dolnych dźwigarów kratowych. Badania kontrolne wykonano na spoinach, które były

znajdowały się w miejscach przewidzianych projektem wykonawczym jak i na tych, które wykonano w miejscach przypadkowych w fazie prefabrykacji konstrukcji.

Badanie jakości doczołowych styków spawanych przeprowadzono przy wykorzystaniu metody radiograficznej. Na każdym badanym styku spawanym rur o średnicy zewnętrznej 88,9 mm wykonano trzy radiogramy w celu objęcia kontrolą całego obwodu rury.

Wyniki wszystkich przebadanych styków okazały się negatywne - we wszystkich przypadkach stwierdzono braki przetopu na całych obwodach kontrolowanych styków spawanych - klasa wadliwości spoin $<D$ wg normy [2] (R5 wg normy [3]).

Wada taka dyskwalifikuje całkowicie taką spoinę w procesie wytwarzania konstrukcji - należy wykonać ją ponownie. Taka spoina w konstrukcji już eksploatowanej może być miejscem ewentualnej awarii czy też katastrofy budowlanej.

9. Badania niszczące materiału rur

Materiał uzyskany z uszkodzonych wiązarów posłużył do wykonania próbek do przeprowadzenia badań wytrzymałościowych. Badania przeprowadzono dla materiału pochodzącego z dwóch różnych odcinków rur o średnicy 88,9 x 4 mm .

Wartości średnie badanych cech materiału podano w tabelicy 2. Materiał przekazany do badań charakteryzował się znaczną wytrzymałością mechaniczną oraz plastycznością potwierdzoną wydłużeniem względnym. Jak pokazano w tabelicy 1 cechy wytrzymałościowe badanej stali są wyższe niż wymagane normowo dla gatunku stali zakładanego w projekcie wykonawczym.

Należy wziąć jednak pod uwagę fakt, iż badania te można odnosić wyłącznie do danego typu rur, a nie do całej konstrukcji, w której wykorzystano rury różnych średnic i grubości ścianek.

Tablica 2. Badania wytrzymałościowe materiału

Analizowana cecha wytrzymałościowa	Wartości normowe dla przewidzianej w projekcie stali gatunku R35	Wartości średnie z badań	
		S1	S2
Granica plastyczności R_e [MPa]	235	310	322
Granica wytrzymałości na rozciąganie R_m [MPa]	345	426	455
Wydłużenie względne A_5 [%]	25	35,2	34,2
Wytrzymałość obliczeniowa f_d [MPa]	210	269*	280*

* wartość określona wg zaleceń zawartych w normie PN-80/B-03200 [4]

10. Weryfikacja opracowania projektowego

W opracowaniu projektowym nie obyło się od różnych uchybień i błędów. Projekt zadania był poddany powszechnie stosowanej w praktyce procedurze „odchudzana konstrukcji”. Przykładem maksymalizowania oszczędności na masie konstrukcji – jako parametrze przetargowym, były choćby zmiany grubości ścianek rur na długości pasów dolnych dźwigarów przestrzennych. Przewidziano w projekcie rury o grubości ścianki równej 4 mm tylko w części środkowej, w zakresie jednego pola wykratowania, zastępując ją w obu częściach skrajnych rurą o tej samej średnicy, ale o grubości 3,6 mm . Należy tu nadmienić, że grubość ta dla rury o tej średnicy jest najmniejszą możliwą do realizacji w warunkach przemysłu hutniczego.

Stwierdzono uchybienia w zakresie modelowania konstrukcji na etapie obliczeń i jej konstruowania.

Projektant w trakcie obliczeń zastąpił przestrzenne dźwigary kratownicowe płaskimi kratownicami. Uproszczenie to spowodowało, na przykład, że nie został uwzględniony efekt skręcania przestrzennych dźwigarów i związane z tym zmiany wartości sił w prętach wykratowania ścian bocznych. Zmiany te powodowały niejednokrotnie wzrost wartości tych sił jak i zmianę ich charakteru.

Innym przykładem błędów jest przyjęcie do obliczeń statyczno - wytrzymałościowych innego kształtownika na płatwie niż został podany w części rysunkowej projektu na. Projektant w części obliczeniowej posłużył się kształtownikiem cienkościennym, który był zaimplementowany w programie komputerowym, natomiast w części rysunkowej zastosował podobny kształtownik w wykonaniu innego producenta. Niezgodność dotyczyła w tym przypadku zarówno przekrojowych cech wytrzymałościowych jak również gatunku materiału, z którego został on wykonywany. Na domiar złego w tym miejscu brak jest spójności w zakresie modelu obliczeniowego. W obliczeniach założono wykonanie płatwi jako belki ciągłej wieloprzęsłowej opartej na wcześniej wspomnianych uproszczonych dźwigarach kratownicowych – czyli w osi wiązarów. Takie rozwiązanie dało obliczeniowo mniejsze ugięcia i lepsze wykorzystanie materiału. W części rysunkowej element ten został wykonany jako ciąg belek wolnopodpartych z obustronnymi krótkimi wspornikami, co realnie zmieniło wartości obserwowanych ugięć.

Przedstawiona wcześniej wstępna cena nośności blach trapezowych również znalazła swoje uzasadnienie w błędach projektowych związanych z pominięciem efektu worka śnieżnego. Zastosowany profil blachy trapezowej o wysokości 60 mm na rozpiętości 5,05 m nie był w stanie przenieść obciążenia pokrywy śnieżnej, której grubość przy ścianie budynku wynosiła około 170 cm .

11. Podsumowanie

Zwiększone oddziaływania środowiskowe, okazały się destrukcyjne w stosunku do źle zaprojektowanej i źle wykonanej stalowej konstrukcji obiektu prowadząc do ujawnienia różnego rodzaju wad. Przedstawione przykłady wad i błędów powstałe w obu etapach realizacji inwestycji świadczą o braku właściwego nadzoru, wiedzy i świadomości działań podejmowanych przez poszczególnych uczestników procesu budowlanego.

Literatura

1. PN-80/B-02010 – Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenia śniegiem
2. PN-EN ISO 6520-1:2002 – spawanie i procesy pokrewne – klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach - Część 1: Spawanie
3. PN-72/M-69770 – Radiografia przemysłowa. Radiogramy spoin czołowych ze stali – Wymagania jakościowe i wytyczne wykonania
4. PN-90/B-03200 – Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie
5. Projekt budowlany, projekty wykonawcze, dokumentacja odbiorowa obiektów dostarczona przez Użytkownika
6. Kowalski D.: Orzeczenie techniczne dotyczące określenia przyczyn awarii konstrukcji budowlanych zadaszeń nad parkingami zlokalizowanymi przy obiekcie handlowym.