Dr inż. STANISŁAW WIERZBICKI, *s-wierzbicki@wp.pl*
Dr inż. PAWEŁ A. KRÓL, *p.krol@il.pw.edu.pl*
Prof. dr hab. inż. WOJCIECH ŻÓŁTOWSKI
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Politechnika Warszawska
Mgr inż. ANDRZEJ KOŁDEJ
Biuro projektowe „PRO-BUD”

BŁĘDY WYKONAWCZE PRZYCZYNĄ STANU PRZEDAWARYJNEGO KONSTRUKCJI STALOWEJ HALI

EXECUTIVE MISTAKES AS THE REASON OF THE STEEL STRUCTURE'S BREAKDOWN IN A COMMERCIAL BUILDING

Streszczenie Referat dotyczy stanu przedawaryjnego konstrukcji stalowej budynku handlowego o powierzchni około 3100m2. Główną konstrukcję nośną obiektu stanowią układy ramowe zaprojektowane i wykonane z blachownic o przekrojach spawanych, dwuteowych. Na ryglach ram oparte są płatwie kratowe. Po przekazaniu obiektu do użytkowania, stwierdzono szereg uchybień w konstrukcji nośnej hali. Szczegółowe wizje lokalne oraz opracowana na ich podstawie ocena stanu technicznego obiektu, pozwoliły na ustalenie przyczyn takiego stanu rzeczy. Stwierdzono występowanie licznych błędów, a nawet braków w zrealizowanej konstrukcji stalowej hali. Znaczna część z nich stanowiła zagrożenie bezpieczeństwa obiektu i wymagała niezwłocznej interwencji. W ramach sporządzonej opinii opracowano kompleksowy program naprawy stwierdzonych błędów i usterek.

Abstrakt The paper is dedicated to the breakdown of the steel structure of the commercial buildings. An area of the described building is about 3100 m^2. The main structure of the building was performed as a frame, made of welded, H-shaped sections. The truss roof purlins are supported on the plate, welded girders. After achieving the official permission to exploitation, the huge amounts of offences in main bearing structure of the building have been affirmed. The expert opinion describing the real technical condition of the structure, based on the detailed inspection of the building, allowed defining the most likely reasons of observed improprieties. Many defects and lacks in erected steel frame structure of the building were affirmed. The considerable part of them made up the threat for safety of the object and required very immediate intervention. In the expert's survey report the complex program of necessary repairs was worked out.

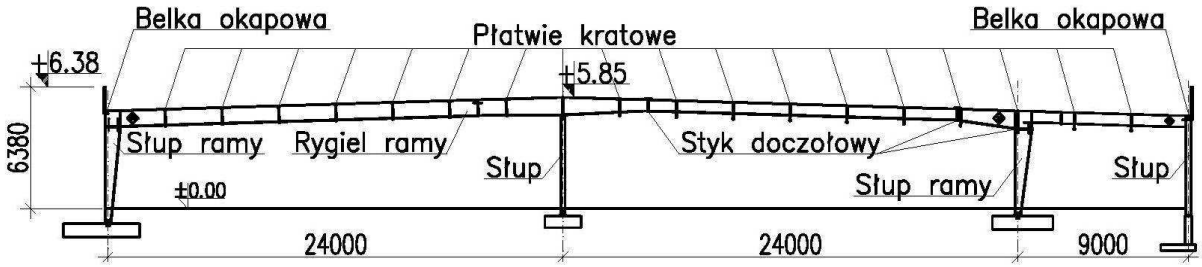
1. Ogólny opis konstrukcji obiektu

Obiekt, w którym stwierdzono występowanie wad i usterek jest budynkiem halowym o wymiarach w osiach 54×57 m. Główna konstrukcja została zaprojektowana w postaci trzyprzęsłowych ram o rozpiętości 24 m + 24 m + 9 m (rys. 1) i zróżnicowanym rozstawie: 12 m, 10.8 m i 7.2 m. Rygle ram zostały zaprojektowane z dwuteowników spawanych z blach o zmiennej wysokości i grubości środnika (od 600×6 mm do 950×10 mm) i zmiennych przekrojach pasów od 240×10 mm do 300×25 mm. Słupy skrajne naw głównych, także zostały zaprojektowane z dwuteowników o zmiennej wysokości i grubości środników od 300×8 do

800×10 mm i przekrojach pasów od 300×16 mm do 300×24 mm. Słupy środkowe naw głównych wykonano z rur ∅219.1×7.1 mm, jako przegubowo połączone z ryglami i przegubowo oparte na fundamentach. Słupy skrajne nawy bocznej (9m) zaprojektowano jako dwuteowe o przekrojach I260-5-150-8 i I260-5-200×10. Ramy mają sztywne węzły narożne i są przegubowo oparte na stopach fundamentowych. Połączenia montażowe wykonano jako doczołowe sprężane śrubami klasy 10.9(10), połączenia z fundamentami, zaś zrealizowano przy pomocy kotew ∅20 i ∅24. Ramy zaprojektowano ze stali 18G2A (S355).

W ścianie szczytowej przeznaczonej do rozbudowy zastosowano układ ramowy analogiczny do opisanych wyżej, z dodatkowymi słupami HEA120, przenoszącymi tylko obciążenie wiatrem i obudową. Układ konstrukcyjny ściany szczytowej, nieprzewidzianej do rozbudowy, zaprojektowano jako słupowo-ryglowy stężony cięgnami Ø16, ze słupami z HEA 140, ryglem z HEA160 i HEB160 – stal 18G2A (S355)

Płatwie zrealizowano jako kratowe o pasach równoległych, wysokości w osiach 830 mm oraz rozpiętościach 12 m, 10.8 m, 7.2 m. Zaprojektowano je ze stali St3S (S235), z kształtowników zamkniętych o przekrojach kwadratowych i wymiarach zależnych od obciążenia. Na pasy zastosowano kształtowniki od 40×40x3 do 120x120×5, na skratowanie, zaś, profile od 30×30×3 do 60×60×4. Dolne pasy płatwi zostały połączone z dolnymi pasami blachownic, za pomocą cięgien. W osiach skrajnych zastosowano rygle z dwuteowników równoległościennych IPE160 – stal 18G2A (S355).



Rys. 1. Ogólny widok układu poprzecznego hali

Słupy pośrednie ścian podłużnych wykonano jako spawane z blach o przekrojach dwuteowych I200-5-140-8, I200-5-150-12 i I300-6-250-14 oraz walcowane IPE200 i HEA120. Są one oparte przegubowo na fundamentach oraz mocowane do elementów konstrukcji dachu. Zastosowana stal to St3S (S235) i 18G2A (S355).

Stateczność konstrukcji hali zapewniają stężenia połaciowe poprzeczne i podłużne zaprojektowane z prętów ∅24, ∅16 i ∅12 (18G2A), profili zamkniętych o przekrojach kwadratowych 70×70×3 i okrągłych ∅44.5×3.2 oraz stężenia ścian zewnętrznych z prętów ∅24, ∅16 (18G2A). Stężenia mocowane są do elementów konstrukcji na śruby, a napinane za pomocą nakrętek napinających rurowych ze stali 18G2A(S355). Stężenie ścienne wewnętrzne zaprojektowano w postaci układu ramowo-kratowego, w którym ryglem jest kratownica o wysokości osiowej 1.4m połączona w sposób przegubowy ze słupami spawanymi I600-6-180-20, opartymi także przegubowo na stopach fundamentowych.

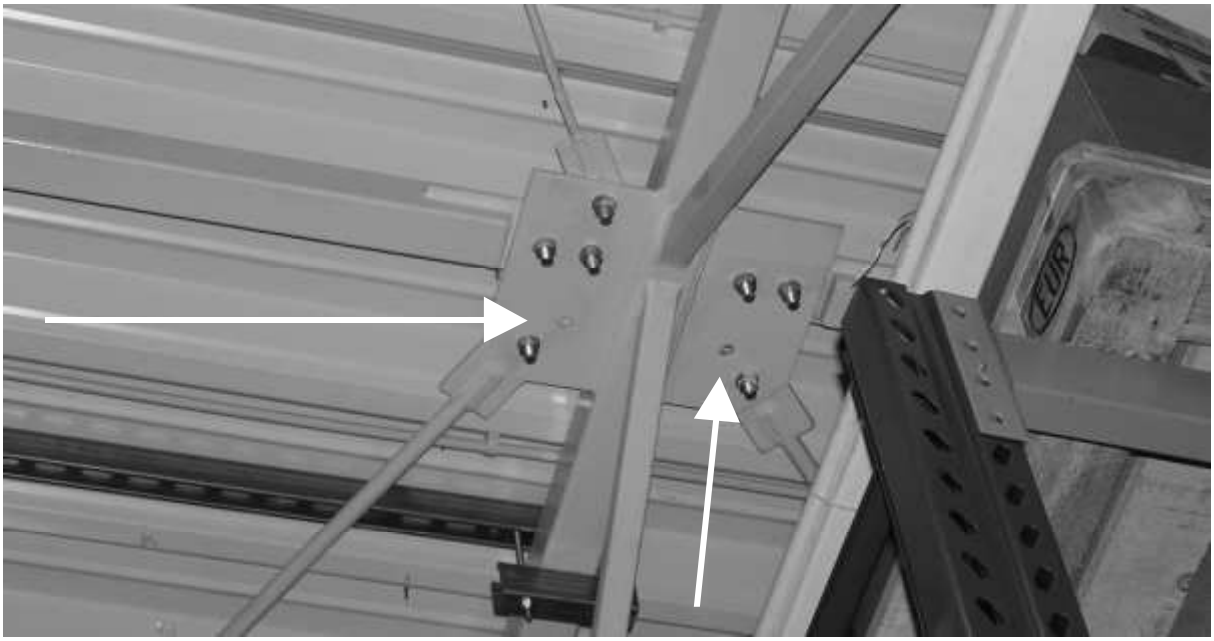
Elementem nośnym pokrycia dachu jest blacha trapezowa TR84/273, g = 0.75 mm.

Pod świetliki, klapy dymowe i wyłazy dachowe wykonano konstrukcje wsporcze z ceowników ekonomicznych, dwuteowników równoległościennych i kątowników – stal St3S (S235). W obiekcie występowały także inne, drugorzędne elementy konstrukcyjne: zadaszona rampa rozładunkowa, zewnętrzna, samonośna, stalowa klatka schodowa, wiatrołap, itp.

Zabezpieczenie antykorozyjne konstrukcji hali zostało zaprojektowane jako dwuwarstwowe, z farb epoksydowych o grubości min. 160 μm.

2. Opis głównych wad i usterek konstrukcji

W trakcie wizji lokalnych stwierdzono szereg wad i uchybień wykonawczych w konstrukcji stalowej obiektu. Najważniejsze z nich zostały opisane niżej.
Praktycznie przy wszystkich śrubach brakowało, zaleconych w projekcie, nakrętek kontrujących, co skutkowało, np. luzowaniem się cięgien stężających połać dachową. W wielu miejscach, gdzie w projekcie przewidziano 2 śruby łączące pręty stężeń z blachami węzłowymi, stwierdzono występowanie tylko pojedynczych śrub – rys. 2. Także przy nakrętkach rurowych, napinających stężenia cięgnowe, nie zastosowano, przewidzianych w projekcie nakrętek kontrujących. W niektórych przypadkach stwierdzono luźne pręty stężeń, a ich nagwintowane końcówki nie zostały zabezpieczone antykorozyjnie, co skutkowało postępującą korozją gwintu.

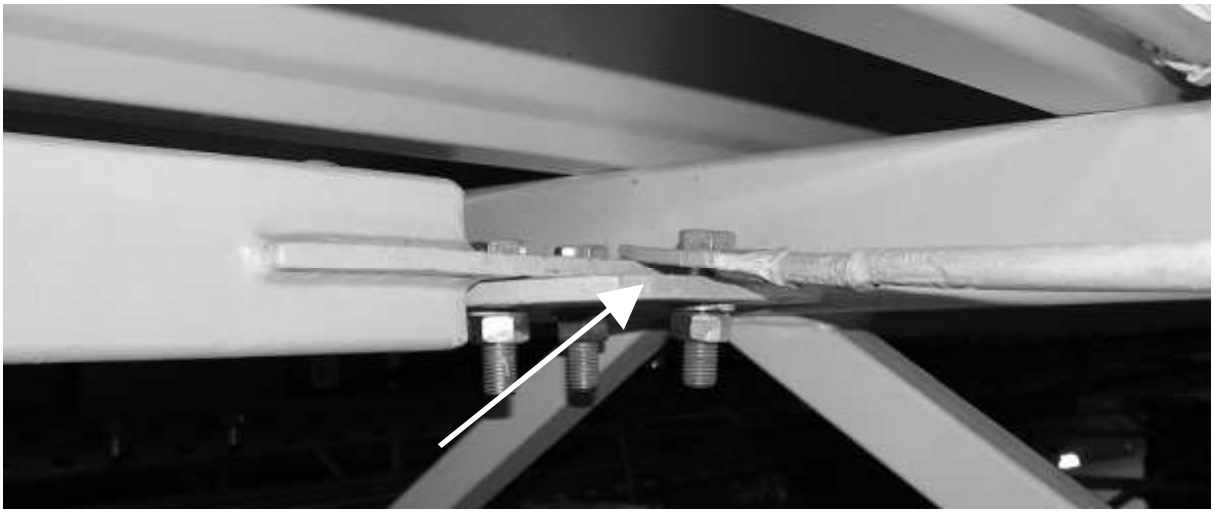


Rys. 2. Mocowanie stężeń do blach węzłowych

W kilku przypadkach stwierdzono, też brak przylegania blach kończących pręty stężeń do blach węzłowych wynikający z nakładania się na siebie końców stężeń – rys. 3. Przy znacznych siłach, mogących pojawić się w stężeniach, prowadziło to do zginania trzpieni śrub i przekroczenia ich nośności. Często występującą usterką był brak, przewidzianych w projekcie, prętów łączących dolne pasy płatwi z pasami dolnymi blachownic – rys. 4. Zadaniem tych prętów była stabilizacja (zabezpieczenie przed skręcaniem i wyboczeniem pasa dolnego) blachownic, a ich brak prowadził do znacznego zwiększenia współczynnika zwichrzenia oraz współczynnika wyboczeniowego rygli ram, co miało największe znaczenie w strefach nadpodporowych (ujemnych momentów zginających). Stwierdzono także istotne odstępstwo od projektu w układzie stężeń, polegające na zmianie miejsca zamocowania stężenia do rygla obwodowego, co uniemożliwiło skuteczne przeniesienie sił poziomych od obciążeń wiatrem, ze słupa ściany na układ stężeń połaciowych.

Nieprawidłowości (niezgodności z projektem) stwierdzono także w połączeniach płatwi z blachownicami. W wielu miejscach zostały zastosowane śruby niezgodne z projektem – M12 zamiast M16, przy otworach ∅18 – rys.5. Prawidłowa praca łączników M12 w otworach ∅18, szczególnie w przypadkach, gdzie nie zostało zapewnione właściwe oparcie płatwi na „stołkach” podporowych (rys.7), była w tej sytuacji wątpliwa.

W trakcie prac naprawczych wykryto także miejsca gdzie zamiast śrub łączących płatwie z blachownicami zastosowano atrapy śrub wykonane z odciętych łbów lub trzpieni z nakręconymi nakrętkami – rys.6. Zostały one „przyklejone” do blach węzłowych w miejscach gdzie w wytwórni nie wykonano jednego z otworów lub wykonane otwory nie były współosiowe. Było to działanie o charakterze sabotażowym, mogące skutkować poważną awarią konstrukcji.



Rys. 3. Brak przylegania blach końcowych stężeń do blach węzłowych

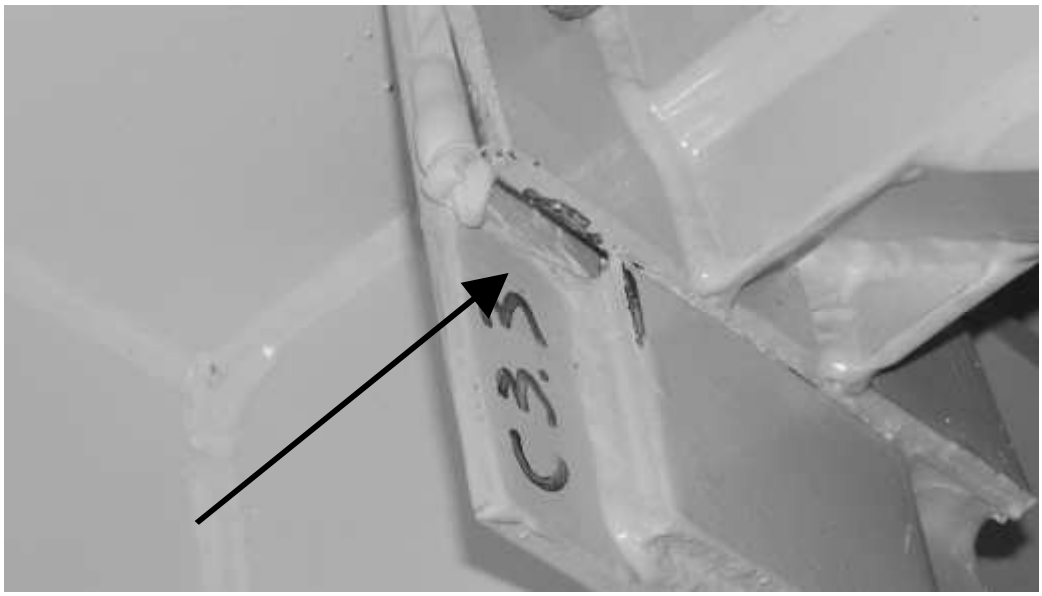
Rys. 4. Brak prętów ∅10 łączących pasy dolne płatwi z blachownicami

W wielu miejscach nie zapewniono właściwego przylegania blach czołowych płatwi do blach węzłowych blachownic i brak, przewidzianych w projekcie, przekładek dystansowych – rys.7. Miejsca te zostały zamaskowane elastycznymi masami, co w znacznym stopniu utrudniło ocenę stanu konstrukcji oraz jej naprawę.

W większości styków doczołowych rygli ram stwierdzono rozwarcia blach czołowych – na ogół w ich środkowej części – rys. 8. Szerokości szczelin znacznie przekraczały normowe wartości graniczne, które dla połączeń sprężonych nie powinny przekraczać 1mm. Szczeliny te były zamaskowane akrylem lub silikonem przez Wykonawcę konstrukcji. Rozwarcie styków doprowadziło do sytuacji, w której część śrub okazała się zbyt krótka i nakrętki nie zachodziły na całej swojej długości na trzpienie śrub.

Rys. 5. Mniejsza niż projektowana, średnica śruby w połączeniu płatwi z blachownicą

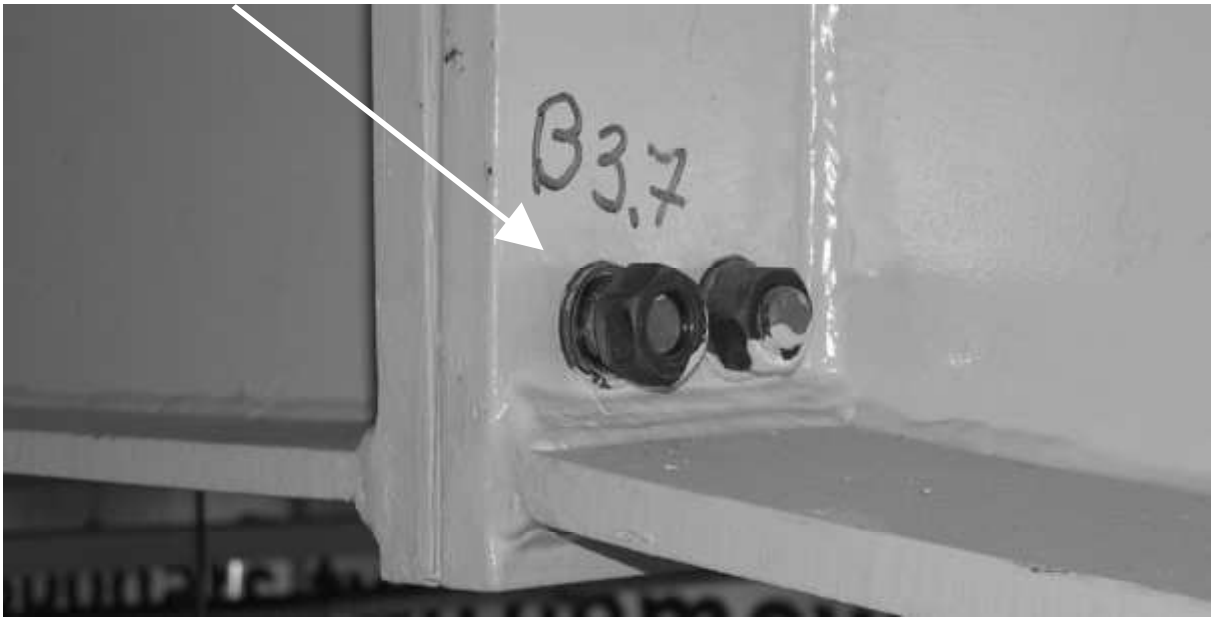
Rys. 6. Atrapa śruby w połączeniu płatwi z blachownicą



Rys. 7. Brak przylegania blachy czołowej płatwi do blachy węzłowej i brak przekładek

Rys. 8. Styk doczołowy rygla po oczyszczeniu z akrylu

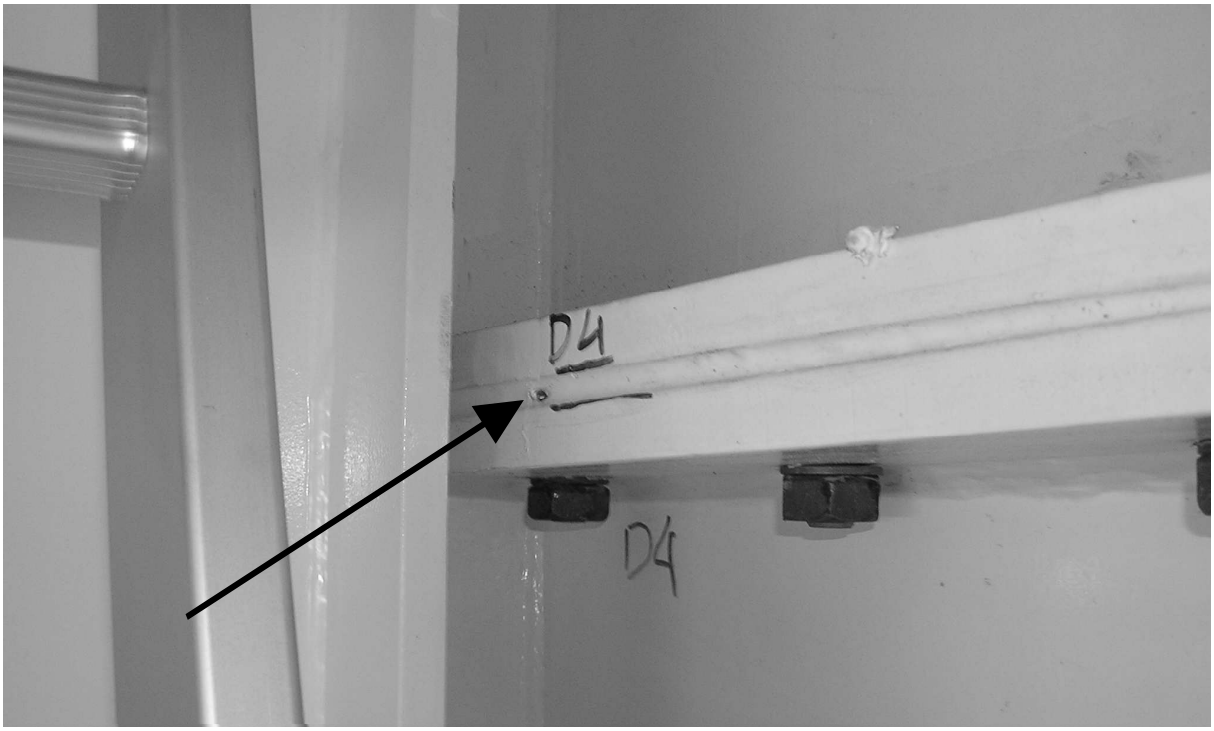
W wielu miejscach stwierdzono luźne, niedokręcone nakrętki śrub (rys. 9), a w trakcie wymiany łączników okazało się, że większość śrub nie została właściwie sprężona – momenty dokręcenia były przypadkowe, różne nawet dla sąsiednich śrub. Niektóre łączniki były wyraźnie odchylone od osi prostopadłej do płaszczyzny styku. Powodowało to niewłaściwe przyleganie łbów do blachy czołowej, a w konsekwencji zginanie trzpieni śrub mogące doprowadzić do ich zniszczenia.



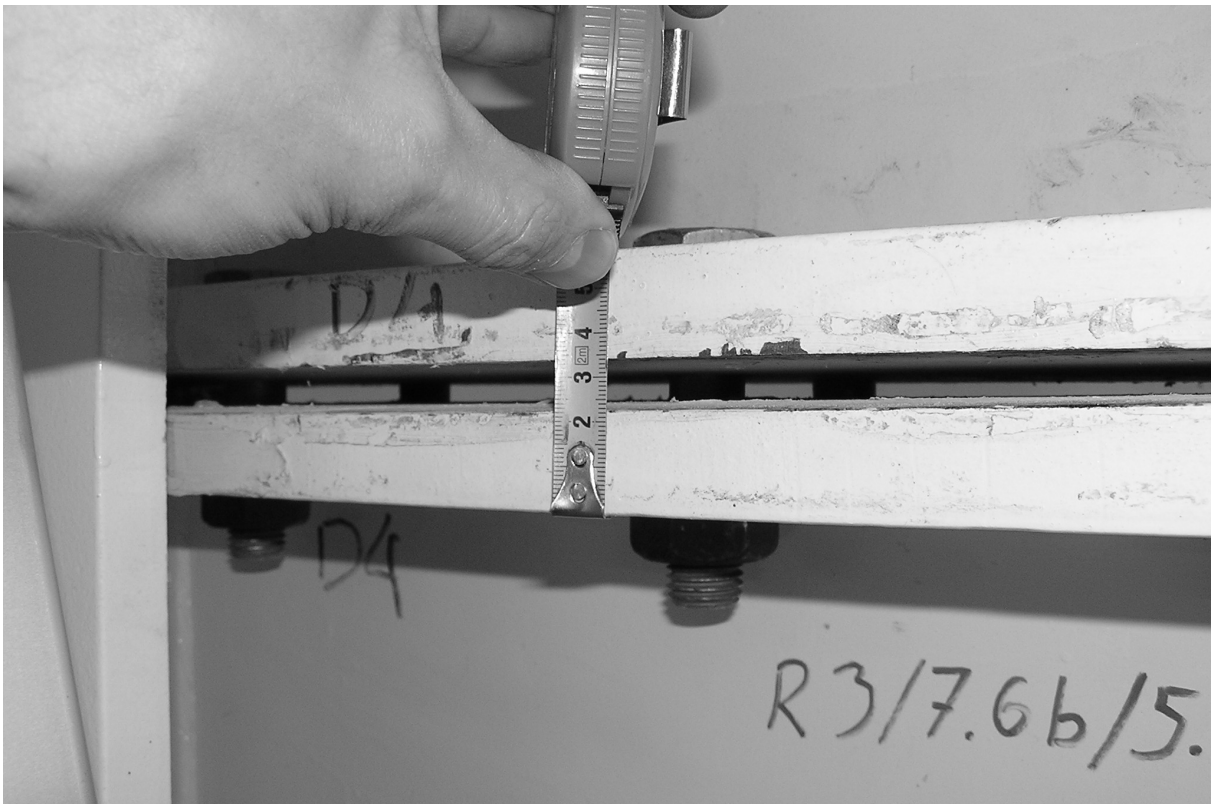
Rys. 9. Niedokręcona nakrętka

Także w większości styków doczołowych rygli ram ze słupami stwierdzono rozwarcia blach czołowych – często na całej długości – rys. 10, 11. Podobnie jak w stykach opisanych wyżej, szczeliny te, w celu ukrycia błędów, zostały zamaskowane akrylem przez Wykonawcę konstrukcji.

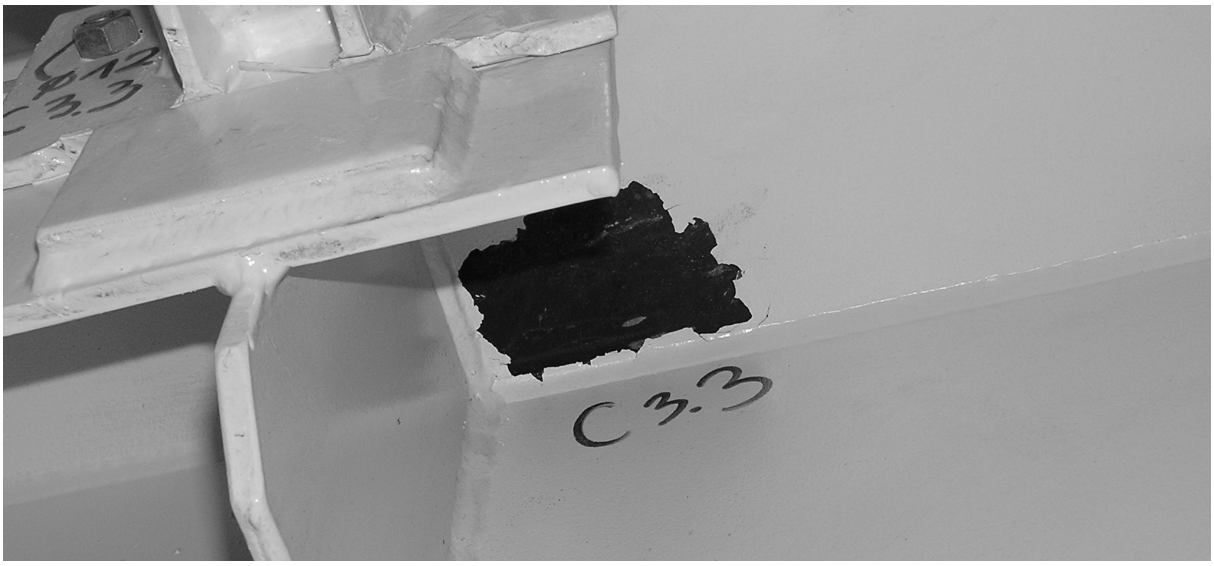
W wielu miejscach występowały ubytki powłoki antykorozyjnej – rys.12. Uszkodzenia farby wskazywały na niewłaściwe wykonanie zabezpieczenia – nieodpowiednie oczyszczenie powierzchni stali przed malowaniem (wymagany stopień czystości Sa2.5) i nie zastosowanie farby gruntującej o innym kolorze niż farba nawierzchniowa (wymóg projektowy). Stwierdzono także zbyt małą grubość powłoki malarskiej.



Rys. 10. Styk doczołowy zamaskowany akrylem



Rys. 11. Styk doczołowy po oczyszczeniu z akrylu



Rys. 12. Ubytki powłoki antykorozyjnej

3. Wnioski i zalecenia

W wyniku przeprowadzonych oględzin i analiz stwierdzono znaczne odstępstwa w zrealizowanej konstrukcji, od projektu budowlanego i wykonawczego. Wykryto szereg niezgodności z normami wykonania konstrukcji stalowych, z których duża część znacząco wpływała na pogorszenie warunków pracy konstrukcji i obniżenie jej nośności. Nagminne wady to brak nakrętek kontrujących oraz niewłaściwe oparcie płatwi i innych elementów konstrukcji na przewidzianych do tego celu „stołkach podporowych". Karygodne było także maskowanie błędów przy pomocy mas typu akryle lub silikony. Zabieg taki utrudniał zinwentaryzowanie uchybień jak również znacznie zwiększył koszty przeprowadzenia napraw. Żadne z tych uchybień i wad nie dorównuje jednak zastosowaniu atrap śrub zamiast rzeczywistych łączników w miejscach, gdzie napotkano na trudności montażowe.

Oddzielnym zagadnieniem była jakość powłoki antykorozyjnej, która nie wpływała bezpośrednio na doraźną nośność konstrukcji, ale znacznie obniżała jej trwałość i podwyższała koszty konserwacji.

Wszystkie stwierdzone wady konstrukcji zostały naprawione wg szczegółowych wytycznych i zaleceń podanych w opinii [4] – wypełnienie styków, wymiana śrub sprężających, dodatkowe nakrętki, wzmocnienia mocowania stężeń, wzmocnienie oparcia płatwi, uzupełnienie ubytków antykorozyjnych, itp.).

Literatura

1. Augustyn J., Śledziewski E.: Technologiczność konstrukcji stalowych, Arkady, Warszawa 1981.
2. Biegus A.: Połączenia śrubowe, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.
3. Ziółko J.: Konstrukcje stalowe, cz.2. Wytwarzanie i montaż, WSiP, Warszawa 1995.
4. „Opinia techniczna na temat zrealizowanej konstrukcji hali..." opracowana przez autorów niniejszego opracowania. Warszawa 2007.
5. PN-90/B-03200 – Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
6. PN-B-06200:2002. Konstrukcje stalowe budowlane. Warunki wykonania i odbioru. Wymagania podstawowe.