

Problemy realizacji inwestycji z zakresu konstrukcji stalowych

Dr inż. Dariusz Kowalski

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Realizacja obiektów budowlanych w obecnych czasach, zarówno tych powstających z funduszy prywatnych, jak i publicznych, poddana jest silnej presji, zarówno dotyczącej zagadnień finansowych jak czasowych. Obecne procedury związane z procesem inwestycyjnym bardzo wydłużają czas związany z przygotowaniem całej inwestycji – począwszy od założeń biznesowych i organizacyjnych poprzez fazę projektowania i obsługę administracyjną, związaną z wymaganiami aktualnego prawa, oraz wszelkie czynności, w tym przetargowe - związane z wyborem wykonawcy. Czasu tego najbardziej brakuje fizycznym wykonawcom robót budowlanych. To oni, jako ostatni w łańcuchu działań, wobec ograniczonego budżetu, czasu oraz dotychczas popełnionych błędów, stają przed dylematem realizacji obiektu. Ograniczenia finansowe w ostatniej fazie realizacji inwestycji, które przekładają się w szczególności na oszczędności materiałowe i technologiczne oraz osobowe, znajdują swoje odbicie w ostatecznym stanie tych obiektów – ich końcowej jakości. W artykule omówiono siedem przykładów inwestycji budowlanych, przy realizacji których wystąpił szereg problemów. Najczęściej występujące błędy można podzielić na następujące grupy:

- błędy fazy projektowania – przypadki numer: 1, 2, 3, 4,
- błędy realizacji powstałe w fazie prefabrykacji konstrukcji w warsztatach wytwórczych i robót budowlano-montażowych, włączając w to również jakość użytych materiałów – przypadki 1 ÷ 6,
- błędy eksploatacji i utrzymania obiektów – przypadek numer 7.

Podobne problemy były podnoszone w opracowaniach [1, 2, 3, 5, 7].

PRZYPADEK NR 1 – HALA MAGAZYNOWA

Halę wykonano jako jednoprzestrzenny obiekt magazynowy o stalowej konstrukcji nośnej w kształcie ramy portalowej z dwoma słupami pośrednimi (rys. 1). Podstawowe wymiary obiektu wynoszą w osiach konstrukcyjnych 46×146 m, wysokość w kalenicy 11,5 m. Główny układ nośny hali tworzy zestaw 17 ram poprzecznych. Poszczególne ramy poprzeczne powiązane są pomiędzy sobą ryglami ściennymi wykonanymi z ceownika giętego oraz układami stężeń ściennych z prętów wiotkich. W połaci dachowej zastosowano płatwie z tego samego rodzaju kształtownika giętego wraz z układem stężeń prętowych. Obudowę obiektu – zarówno ścienną jak dachową - stanowi systemowa płyta warstwowa o grubości 10 cm z izolacją termiczną.

W trakcie niespełna dwuletniego okresu eksploatacji Użytkownik stwierdził nadmierne deformacje obiektu. Wstępne oględziny obiektu pozwoliły wskazać następujące błędy wykonawcze:

- niepoprawnie wykonane połączenia spawane elementów wzmacniających przekroje słupów i rygli dachowych wykonanych z dwuteowników typu IPE300; na wszystkich słupach stwierdzono brak połączeń spawanych pomiędzy środkami a pasami oraz zbyt małe grubości spoin w połączeniach między pasami (rys. 2a),
- niepoprawnie wykonane łączenie odcinków blach tworzących pasy w elementach lokalnie zwiększających nośność przekroju; należy zaznaczyć, że takie połączenie w ogóle nie było przewidziane w projekcie (rys. 2b),
- źle wykonane prace spawalnicze, a w niektórych miejscach właściwie ich brak, przy jednoczesnym uszkodze-



Rys. 1. Widok ogólny obiektu



Rys. 2. Wybrane defekty wykonawcze obiektu o stalowej konstrukcji nośnej
 a) pęknięcie pasa dolnego w obrębie węzła, b) przykłady złego wykonania wzmocnienia, c) wady połączeń spawanych,
 d) przykłady łączenia elementów oryglowania ściennego do słupów konstrukcyjnych

niu elementów konstrukcyjnych głównego kształtownika tworzącego słup ramy - pasów dwuteowników walcowanych (rys. 2c),

- niepoprawną geometrię ustawienia poszczególnych ram nośnych całego układu konstrukcyjnego, co spowodowało różnorodne rozwiązywanie połączeń rygli ściennych z słupami oraz niepoprawny montaż elementów, efektem którego są takie wady, jak: podcinanie elementów oryglowania, dowolność stosowania i wykonania połączeń spawanych, a w wielu miejscach nawet ich brak, dopasowywanie elementów do obrysu słupów, itp. (rys. 2d)
- widoczne prawie na każdym słupie pochylenie ram w kierunku podłużnym,
- błędy wykonawcze w zakresie montażu elementów stężeń,
- podcinanie elementów nośnych konstrukcji bram.

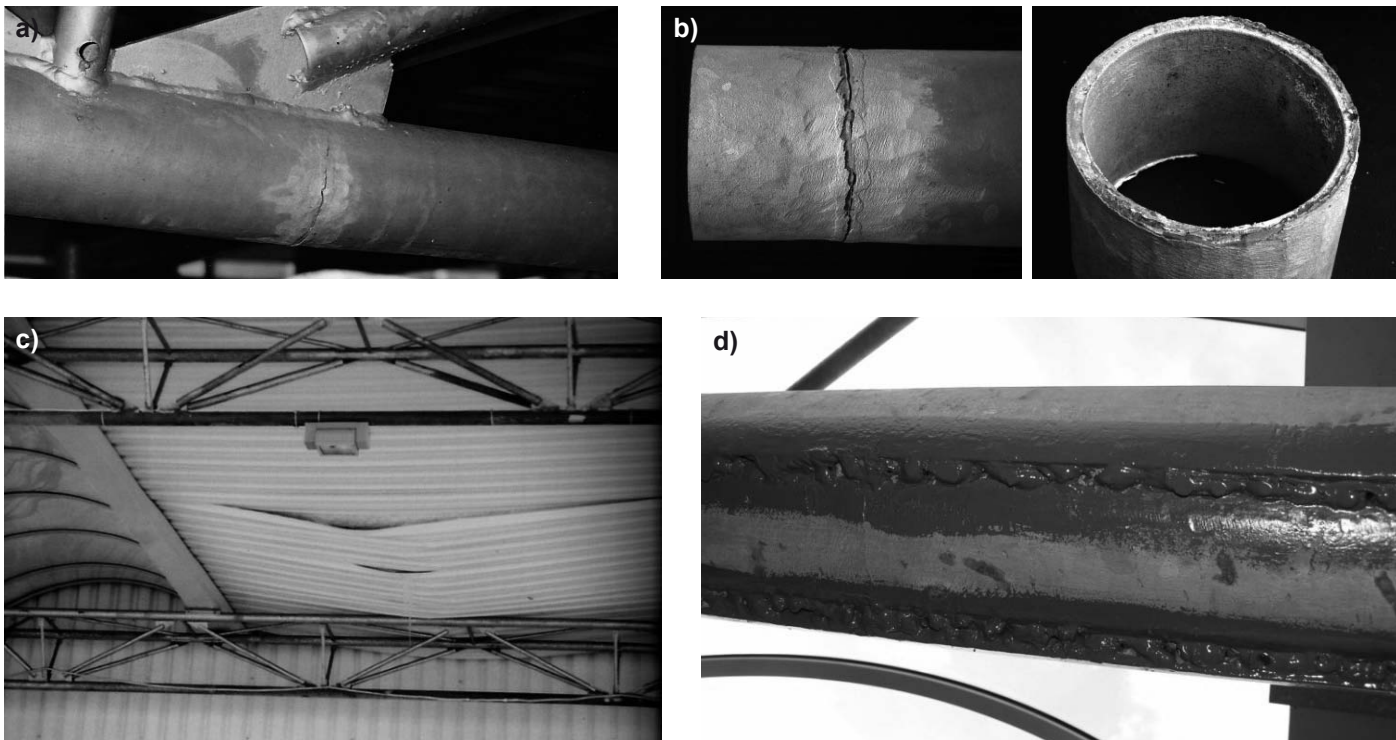
Główne błędy projektowe stwierdzone w obiekcie to:

- nieodpowiednio skonstruowane stężenia ścienne i dachowe – brak nośnych profili przenoszących ściskanie powstające w układach stężeń,
- brak zabezpieczenia przekrojów otwartych na utratę stateczności globalnej w postaci zwichrzenia zarówno w elementach ryglowych, jak i słupowych,

- brak w dokumentacji projektowej jakichkolwiek wytycznych dotyczących warunków wykonania konstrukcji w zakresie prefabrykacji, montażu i odbioru gotowej konstrukcji.

PRZYPADK NR 2 – ZADASZENIE NAD STANOWISKAMI POSTOJOWYMI DLA KLIENTÓW

Zadaszenie wykonano nad placem parkingowym przed halą magazynowo-handlową. Konstrukcję wykonano w kształcie rusztu złożonego z przestrzennych, trójkątnych kratownic, na których zamontowano płatwie służące do podparcia poszycia z blachy fałdowej, świetlików oraz wbudowanych w poszycie rynien odpływowych wody opadowej. Całą konstrukcję zadaszenia wsparto na utwierdzonych w stopach kielichowych słupach o przekroju kołowym, z rur o średnicy 273 mm. W wyniku nadmiernego, ponadnormowego obciążenia śniegiem połączy zadaszenia jakie wystąpiło w drugim roku eksploatacji obiektu, w ciągu kilku dni doszło do kilku awarii. Objawami zniszczenia były poprzeczne pęknięcia przekrojów rurowych tworzących pojedynczy pas dolny (rys. 3a, 3b) oraz załamania się blach fałdowych tworzących połączy zadaszenia (rys. 3c).



Rys. 3. Wady konstrukcji metalowej spowodowane złą jakością prac wytwórczych
 a) zniszczone połączenie pasa dolnego, b) zniszczone połączenie pasa dolnego, c) załamana blacha pod workiem śnieżnym,
 d) sposób naprawy słabych połączeń doczołowych

Późniejszy przegląd konstrukcji wskazał na następujące uchybienia popełnione w czasie realizacji inwestycji:

- przeprowadzenie procedury „odchudzenia” konstrukcji w celu obniżenia jej ciężaru, co zrealizowano przez wprowadzenie w pasach kratownic zróżnicowania przyjętych przekrojów rurowych z dostosowaniem do wartości sił otrzymanych z obliczeń statyczno-wytrzymałościowych, co spowodowało wprowadzenie wielu poprzecznych styków spawanych w pasach dolnych,
- nieprawidłowe wykonanie obliczeń statycznych i wytrzymałościowych poprzez zastosowanie uproszczonych płaskich, wyizolowanych modeli obliczeniowych dla poszczególnych elementów konstrukcyjnych, przez co nie uwzględniono przestrzennej pracy elementów tworzących ruszt,
- błędnie wykonane obliczenia statyczne blach poszycia z pominięciem efektu worków śnieżnych powstających na konstrukcji.

W zakresie wykonawstwa kardynalnym błędem wykonawcy oraz nadzoru było dopuszczenie do wprowadzenia dodatkowych połączeń spawanych przekrojów rurowych pasów dolnych rozciąganych w miejscach nie przewidzianych projektem oraz całkowity brak nadzoru i jakiegokolwiek kontroli nad wykonaniem połączeń spawanych. Ponadto wykonawca dodatkowe połączenia spawane pasów dolnych wykonał w takim „pośpiechu”, że w trakcie spawania ścianki rur składowych nie zostały przetopione na całej grubości – szew spawalniczy ułożono jedynie na zewnętrznych powierzchniach stykających się elementów (rys. 3b). Wadliwy stan połączeń spawanych stwierdzono nie tylko w elementach, które uległy awarii, lecz również w po-

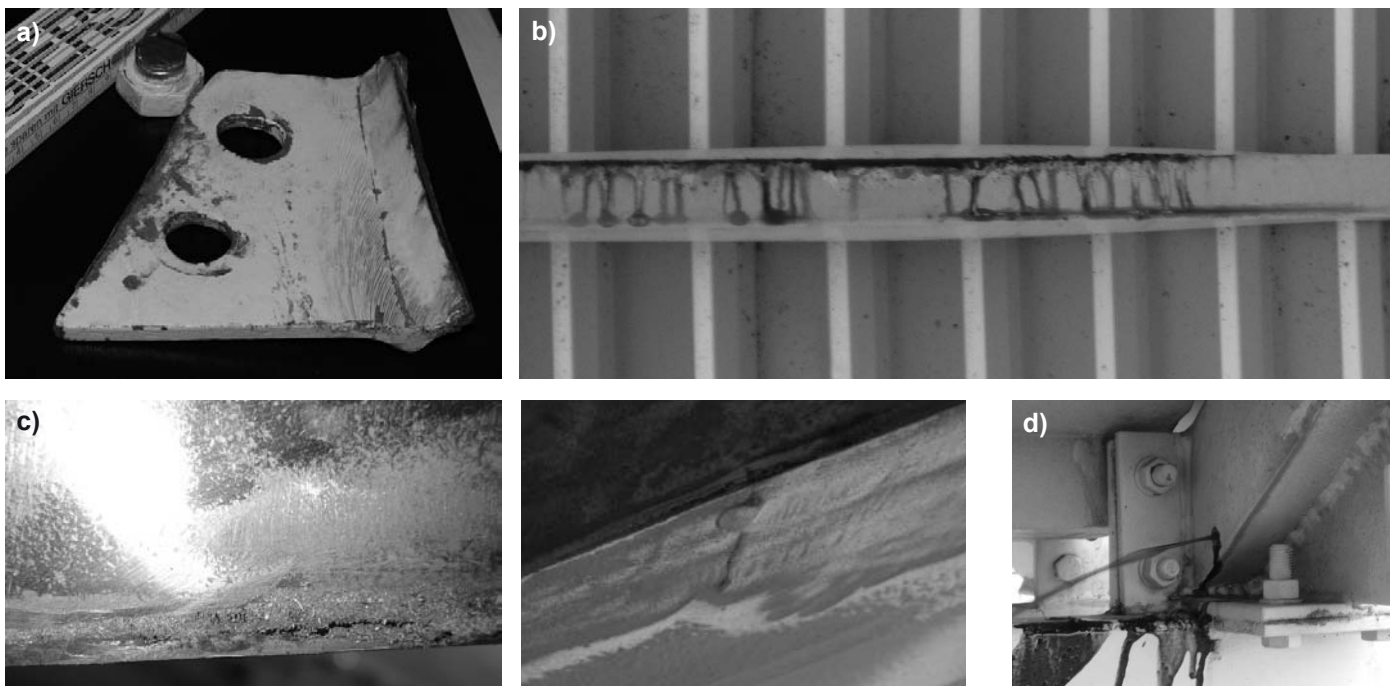
zostałych stykach, co zostało potwierdzone wynikami badań radiograficznych. Przeprowadzony przez wykonawcę sposób naprawy również obarczony jest wieloma nieprawidłowościami (rys. 3d).

PRZYPADEK NR 3 – ELEMENTY ZEWNĘTRZNE HALI MAGAZYNOWEJ

Po około 6 latach eksploatacji, podczas okresu zimowego, po obfitych opadach śniegu doszło do urwania się wspornika podtrzymującego dach osłonowy (rys. 4a). W wyniku przeprowadzonej w późniejszym okresie kontroli stwierdzono następujące błędy montażowe:

- zastosowanie nieprawidłowych łączników śrubowych w połączeniach elementów stalowych; główne błędy w tym zakresie obejmowały: 1) zastosowanie łączników mniejszej średnicy, niż wynikało to z wymagań projektu, a wykonano ze względu na brak możliwości poprawnego spasowania otworów montażowych, 2) zastosowanie łączników śrubowych gwintowanych na całej długości trzpienia zamiast śrub z gwintem na części długości trzpienia (rys. 4a),
- niedostateczne dokręcenie połączeń śrubowych w stykach doczołowych sprężonych oraz brak śrub w połączeniach doczołowych,

Sprawą wielce problematyczną w dalszej eksploatacji okazało się wykonanie elementów nośnych usytuowanych na zewnątrz obiektu z rur prostokątnych i z kształtowników spawanych o przekroju poprzecznym zamkniętym. Do elementów



Rys. 4. Zniszczenia elementów konstrukcji stalowej

a) zniszczony element wsporczy, b) rura prostokątna rozsadzona przez zamarzającą wodę, c) uszkodzenia na krawędzi kształtownika, d) woda w kształtownikach

tych zamocowano blachy pokrycia za pośrednictwem wkrętów samowierzących (rys. 4b). Zastosowane liczne łączniki przyczyniły się do rozhermetyzowania profili zamkniętych i dostania się do ich wnętrza wody, która stała się przyczyną niekontrolowanego procesu korozyjnego wewnętrznych powierzchni elementów, a zimą doprowadziła do pęknięcia elementów na skutek zamarzania wewnątrz kształtowników (rys. 4b, 4c, 4d).

PRZYPADEK NR 4 – HALA PRODUKCYJNA W TRAKCIE BUDOWY

Nowobudowana hala produkcyjno-magazynowa miała być wyposażona w trakcie budowy w natorową suwnicę pomostową o nośności 100 kN (rys. 5c). W trakcie ustawiania suwnicy na torowisku doszło do uszkodzenia pasa dolnego kratownicy na skutek uderzenia w nią przez ramię żurawia montażowego. W efekcie tego zdarzenia znacznej deformacji uległ pas dolny kratownicy nośnej wykonany z dwuteownika walcowanego HEA 180 (rys. 5d). Poważnej deformacji i uszkodzeniom uległy również elementy stężenia podłużnego usytuowane w poziome dolnego pasa kratownicy (rys. 5a, 5b). W przedstawionym przypadku zakres naprawy wymagał całkowitej wymiany uszkodzonych elementów.

PRZYPADEK NR 5 – WIEŻA OŚWIETLENIOWA

Konstrukcję wsporczą wieży oświetleniowej o całkowitej wysokości 42 m wykonano w postaci zbieżnego, po wysokości, pręta wielokątnego. Połączenia poszczególnych prefabrykowanych segmentów na długości trzonu wieży zrealizowano poprzez nasunięcie na siebie kolejnych segmentów uformowa-

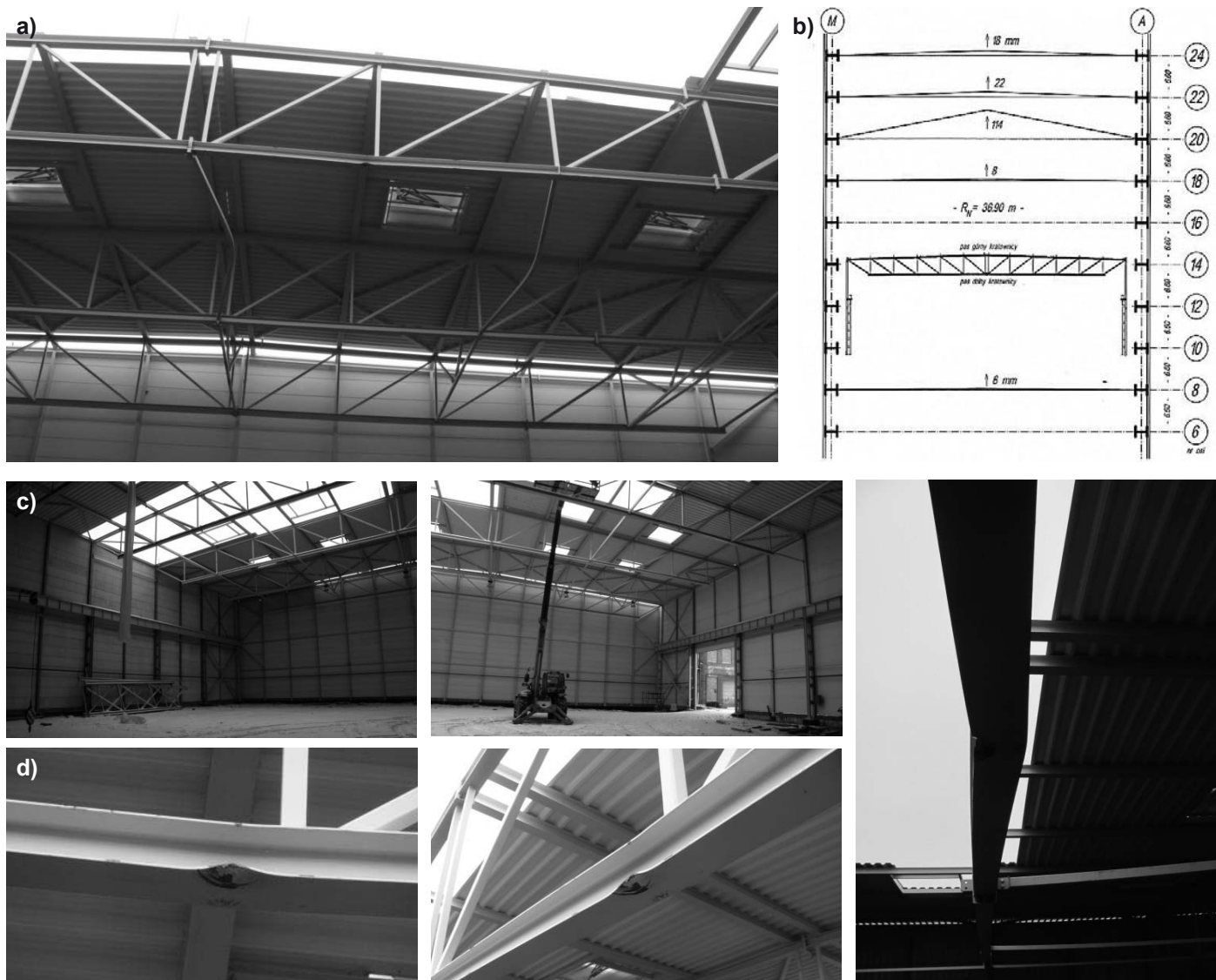
nych w kształcie stożka. W wyniku prowadzonych prac przeglądowych stwierdzono na większości odcinków podłużnych, warsztatowych spoin czołowych łączących składowe części prefabrykatów, braki przetopu dochodzące do 2,5 mm zmierzonej głębokości spoin przy grubościach ścianek wynoszących w zależności od wieży i segmentu – 8, 6 i 5 mm (rys. 6).

PRZYPADEK NR 6 – KONSTRUKCJE WIEŻOWE

Złej jakości profile o przekroju poprzecznym rurowym, zastosowane przy wznoszeniu konstrukcji wieży obserwacyjno-pomiarowej, stały się przyczyną podjęcia decyzji o wyłączeniu obiektu z eksploatacji. Na większości rur tworzących elementy nośne stwierdzono wzdłużne pęknięcia i nieciągłości w miejscu zgrzewu podłużnego kształtowników o przekroju rurowym. Użytkownik w czasie dotychczasowej eksploatacji dokonywał lokalnych napraw, wykonując odcinkowe spoiny w celu ratowania elementów przed całkowitym zniszczeniem pod wpływem oddziałujących obciążeń (rys. 7).

PRZYPADEK NR 7 – KOMIN SPALINOWY KOTŁOWNI OSIEDLOWEJ

Komin w obudowie kratowej zlokalizowany jest przy małej kotłowni obsługującej niewielkie osiedle mieszkaniowe. Obiekt wykonano, według projektu typowego, w końcu lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Komin zaprojektowano jako jednoprzewodową rurę spalinową o średnicy 600 mm i wysokości 40 m, wykonaną ze stali zwykłej, o zmiennej grubości ścianek. Rurę spalinową podparto przegubowo na fundamencie i w dwóch punktach na obudowie w kształcie trójściennej



Rys. 5. Hala stalowa po uszkodzeniu w trakcie prac montażowych
 a) widok zdeformowanej części hali, b) pomiar geometrii po awarii, c) widok ogólny wnętrza hali,
 d) miejscowe i globalne deformacje pasa dolnego uszkodzonej kratownicy



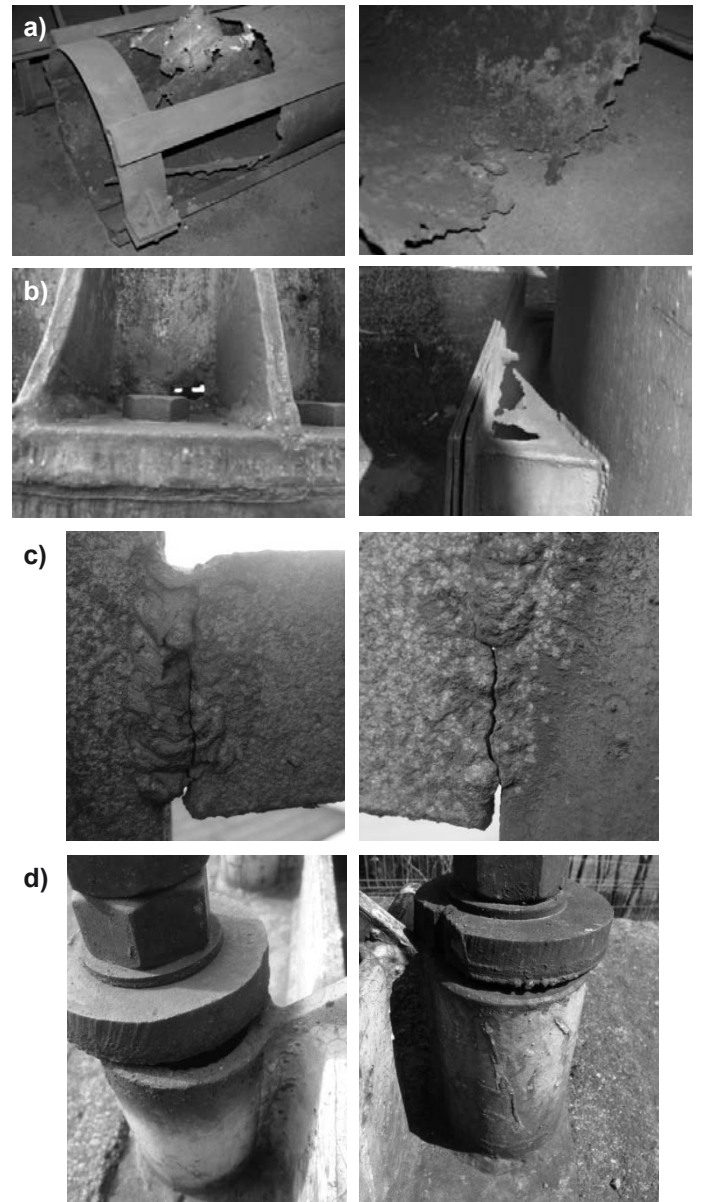
Rys. 6. Przykłady wadliwie wykonanych spoin czołowych łączących połwki segmentów wieży



Rys. 7. Rura w miejscu szwu podłużnego



Rys. 8. Widok ogólny obiektu



Rys. 9. Wybrane uszkodzenia eksploatacyjne obiektu
a) stan destrukcji zdemonstrowanej części trzonu kominowego, b) stan skorodowania eksploatowanej części spalinowej kominu, c) pęknięcia na połączeniach spawanych, d) brak szczelności połączeń

wieży kratowej podtrzymującej komin do wysokości około 30 m (rys. 8). Użytkownik obiektu od czasu jego wzniesienia do chwili obecnej nie prowadził żadnych czynności kontrolnych wymaganych podczas prawidłowej eksploatacji, doprowadzając konstrukcję do stanu przedawaryjnego. W rezultacie, w ciągu dwóch miesięcy użytkownik został dwukrotnie zmuszony do podjęcia decyzji o skróceniu kominu. Przyczyną podjęcia takiego działania były nadmierne wychylenia wierzchołka kominu, spowodowane znaczną korozją rury dymowej (rys. 9a). Aktualny stan konstrukcji:

- rura trzonu kominowego jest silnie przekorodowana – występują liczne perforacje ścianki kominu (rys. 9b),
- stwierdzono przypadki pękniętych połączeń spawanych między elementami (rys. 9c) oraz nieprawidłowo zamknięte przekroje rurowe w miejscu mocowania kotew młotkowych w blokach fundamentowych (rys. 9d),

- elementy nośne stalowej, przestrzennej kratownicy wsporczej wykonane z przekrojów rurowych, w przeważającej części pokryte są produktami korozji, a występująca korozja na charakter wżerowy o głębokości dochodzącej do 2 mm,
- powłoki zabezpieczenia antykorozyjnego na większości elementów przekorodowały i uległy zniszczeniu w wyniku działania agresywnej korozyjnie atmosfery występującej wokół komina,
- elementy dodatkowego osprzętu komina są silnie skorodowane lub zdewastowane.

Obecny stan komina zmusił jego użytkownika do podjęcia działań zmierzających do oceny stanu istniejącej konstrukcji wsporczej i całkowitej wymiany układu spalinowego.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wybrane przykłady realizacji i eksploatacji różnych konstrukcji metalowych wskazują na ciągle istniejące przypadki zaniedbań po stronie uczestników procesu budowlanego. Przypadki te występują w całym okresie trwania procesu inwestycyjnego związanego z realizacją, jak również dotyczą eksploatacji obiektów. Wiele problemów, z którymi boryka się użytkownik w czasie eksploatacji obiektu, ma swój początek już w szeroko pojętej fazie przygotowania inwestycji – związane jest to często ze złym zaprojektowaniem zarówno głównych elementów konstrukcyjnych, jak i detali mających bezpośredni wpływ na warunki i koszty utrzymania. Występuje często brak szczegółowych wytycznych dla projektanta, jakiego obiektu oczekuje zamawiający, jakie pozanormowe warunki powinien spełnić. Często projekty, ze względu na duży stopień ogólności, a w konsekwencji dużą dowolność w stosowaniu rozwiązań techniczno-materiałowych, wpływają na ostateczny stan konstrukcji. Powstałe w tej fazie błędy są najbardziej odczuwalne w fazie realizacji, np. w przypadku wprowadzania zmian, poprawiania lub przeprojektowywania elementów czy kosztownych opóźnień powstających w przypadku dostawy elementów niepasujących do siebie, czy też nie spełniających wymaganych warunków. Nie zawsze można takie elementy naprawić czy też poprawić bezpośrednio na budowie. Niekompletność dokumentacji, jak i braki w opisach technicznych do projektów czy też specyfikacjach technicznych wykonania i odbioru robót często przyczyniają się do powstawania obiektów, których już początkowy stan techniczny wymaga znacznych nakładów finansowych i czasowych z uwagi na wprowadzenie koniecznych poprawek. Poprawek, które często poprawiając jeden parametr konstrukcji, jednocześnie uszkadzają inne. Nie zawsze jednak takie poprawki można wykonać i wówczas konstrukcje wymagają stosownego nadzoru i postępowania w czasie ich eksploatacji. Wiele dobrego dla konstrukcji, jak i jej przyszłych użytkowników może wprowadzić konieczność wykonywania rzetelnej weryfikacji i oceny prac projektowych i wszelkich koniecznych opracowań nie wewnątrz biur projektowych czy przez „zaprzyjawnione” pracownie, lecz w procedurach weryfikacyjnych prowadzonych przez inne, niezależne firmy czy też instytucje. Takie zalecenia znajdują się np. w normie PN-EN 1990 [6].

W przypadku drugiej grupy błędów – błędów wykonawczych – wiele efektów złego wykonawstwa można usunąć przez

właściwy i kompetentny nadzór nad realizacją prac oraz dzięki kompetentnym pracownikom wykonującym poszczególne prace. Zarówno doświadczenie, jak i kwalifikacje pracowników fizycznie wykonujących poszczególne prace wytwórcze i montażowe, a także doświadczenie ze strony kadry techniczno-inżynierskiej wykonawcy, mogą wpłynąć na poprawę jakości i ostateczny stan konstrukcji. Nie należy również zapominać o warunkach prawidłowego zarządzania procesem budowy w aspekcie jakości [4]. Ważna jest rola pełnionego nadzoru ze strony inwestora, który powinien czuwać nad każdym etapem prowadzenia prac. Także w tym przypadku należy zwrócić uwagę na kompetencje osób sprawujących te funkcje i ich zaangażowanie w prowadzone czynności kontrolne, które powinny odbywać się na każdym etapie i w każdym miejscu powstawania obiektu.

Ostatnia faza – okres eksploatacji – to najdłuższy okres życia konstrukcji na przestrzeni całego przedsięwzięcia inwestycyjnego, biorąc pod uwagę wszystkie dotychczasowe działania jakie musiały być podjęte w celu jego realizacji. Jak wykazują wcześniejsze przykłady, rolą użytkowników nie jest tylko korzystanie z dobrodziejstw posiadania określonej infrastruktury technicznej, jakimi są poszczególne obiekty budowlane, lecz również prawidłowe ich eksploataowanie, które nie będzie sprowadzało się wyłącznie do czerpania określonych zysków z danego obiektu, ale również ponoszenia określonych nakładów na kontrolę, badania, utrzymanie i stosowne remonty. W wielu znanych przypadkach środki na te działania są niewspółmierne małe w stosunku do wagi obiektu i ograniczają się jedynie do czynności administracyjnych zagrożonych sankcjami prawnymi, tj. do obowiązkowych przeglądów. Także w tej fazie istnienia konstrukcji muszą znaleźć się osoby znające specyfikę poszczególnych obiektów czy też konstrukcji, osoby potrafiące odpowiednio reagować na powstające w czasie eksploatacji problemy, ale również prowadzić właściwą gospodarkę związaną z utrzymaniem obiektów.

Przedstawione problemy realizacji obiektów w głównej mierze dotyczą projektowania oraz realizacji obiektów – czyli zakresu, w którym pracownikami wiodącymi są osoby z budowlanym wykształceniem technicznym. To ta grupa zawodowa powinna szczególnie zwracać uwagę nie tylko na sprawy terminu i kosztu realizacji przedsięwzięcia, lecz także mieć na uwadze wszystkie sprawy związane z przyszłym długoletnim użytkowaniem obiektów. Ponoszone w czasie eksploatacji dodatkowe nakłady finansowe wpisują się w koszty całego przedsięwzięcia, jakim jest inwestycja budowlana – w okresie od pomysłu po rozbiórkę obiektu.

LITERATURA

1. Kowalski D.: Eksploatacja obiektu budowlanego weryfikacją prac projektowych i wykonawczych, XXIII Konferencja naukowo-techniczna, Zapobieganie, diagnostyka, naprawy, rekonstrukcje. Awaryjne Budowlane, Szczecin – Międzyzdroje, 23 – 26 maja 2007.
2. Kowalski D.: Wpływ imperfekcji wykonawczych na stan naprężeń w płaszczu stalowego zbiornika walcowego o osi pionowej, Politechnika Gdańska, 2004.
3. Kowalski D.: Wpływ redukcji kosztów wykonania stalowych konstrukcji budowlanych na ich właściwości eksploatacyjne i utrzymanie, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej. Budownictwo Lądowe, nr 61, 2007.

4. Kowalski D.: Zapewnienie jakości robót i materiałów w realizacjach budowlanych, *Inżynieria Morska i Geotechnika*, nr 5/2013.
5. Litwin M., Górecki M.: Błędy wykonawcze podczas realizacji konstrukcji stalowych, *Budownictwo i Architektura*, nr 4/2010, Politechnika Lubelska.
6. PN-EN 1990:2004 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.
7. Urbańska-Galewska E. i inni: Analiza stanu technicznego hali Olivia po 40 latach użytkowania XXIV Konferencja naukowo-techniczna : zapobieganie, diagnostyka, naprawy, rekonstrukcje, Awarie Budowlane, Szczecin-Międzydroje, 26-29 maja 2009.