

Problemy realizacji inwestycji z zakresu konstrukcji stalowych

Kowalski Dariusz

Politechnika Gdańska, Gdańsk, Polska

Inżynieria Morska i Geotechnika, vol. 34, no 5, 2013, pp. 355–362

Abstrakt: Przedstawiono przypadki wadliwie wykonanych i eksploatowanych obiektów o metalowej konstrukcji nośnej. Obiekty w takim stanie świadczą o niskiej świadomości problemu bezpieczeństwa, jakości i odpowiedzialności osób decyzyjnych jak i kadry technicznej.

Abstract: Cases of defective objects carried and operated by a metal support structure are presented. Objects in this state indicate a low awareness of the issue of safety, quality and accountability of the people associated with their execution and maintenance.

Wprowadzenie

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 mocno 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

Hala wykonana została 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 x 146 metrów. Wysokość w kalenicy 11,5 metrów. 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 połąci dachowej zastosowane zostały 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 projektowe i 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 środnikami 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 uszkodzeniu elementów konstrukcyjnych głównego kształtownika tworzącego słup ramy - pasów dwuteowników walcowanych (rys. 2c),
- niepoprawną geometrię ustawienia poszczególnych ram nośnych całego układu, co jest przyczyną różnorodnego rozwiązywania połączeń rygli ściennych ze 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 montażu 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 odnośnie warunków wykonania konstrukcji w zakresie prefabrykacji, montażu i odbioru konstrukcji.



Rys. 1. Widok ogólny obiektu



a) sposób łączenie pasów na wzmocnieniach

b) przykłady złego wykonania wzmocnienia

c) wady połączeń spawanych



d) przykłady łączenia elementów oryglowania ściennego do słupów konstrukcyjnych

Rys. 2. Wybrane defekty wykonawcze obiektu stalowego

Przypadek nr 2 - Zadaszenie nad stanowiskami postojowymi dla klientów

Zadaszenie wykonane nad placem parkingowym przed halą magazynowo – handlową. Konstrukcja wykonana została 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. Cała konstrukcja zadaszenia została wsparta 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 przeciągu kilku dni doszło do kilku awarii. Objawami zniszczenia były poprzeczne pęknięcia rur tworzących pojedynczy pas dolny (rys. 3a, 3b) oraz załamania się blach fałdowych tworzących połączy zadaszenia (rys. 3c). 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 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 została uwzględniona przestrzenna praca elementów tworzących ruszt,
- błędnie wykonane obliczenia statyczne dla 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 rur pasów dolnych rozciąganych w miejscach nie przewidzianych projektem oraz całkowity brak nadzoru i jakiegokolwiek kontroli nad wykonaniem połączeń spawanych. Ponadto wykonawca dodatkowe połączenia spawane rur pasów dolnych wykonał w takim „pośpiechu”, że w trakcie spawania nie zostały przetopione całe grubości ścianek rur składowych – szew spawalniczy został ułożony jedynie na zewnętrznych powierzchniach stykających się elementów (rys. 3b). Wadliwy stan połączeń spawanych został stwierdzony nie tylko w elementach, które uległy awarii, lecz również w pozostałych stykach, co zostało potwierdzone wynikami badań radiograficznych, wykonanymi już na gotowej konstrukcji. Przeprowadzony przez wykonawcę sposób naprawy również obarczony jest wieloma nieprawidłowościami (rys. 3d).



a) pęknięcie pasa dolnego w obrębie węzła



b) zniszczone połączenie rury pasa dolnego



c) załamana blacha pod workiem śnieżnym



d) sposób naprawy słabych połączeń doczołowych

Rys. 3. Wady konstrukcji metalowej spowodowane złą jakością prac wytwórczych

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 wykonane zostało z uwagi 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,

Elementem wielce problematycznym w dalszej eksploatacji okazało się wykonanie elementów nośnych usytuowanych na zewnątrz obiektu z rur prostokątnych i kształtowników spawanych w przekroju zamknięte. Do elementów tych zostały zamocowane blachy pokrycia za pośrednictwem wkrętów samowiercących (rys. 4b). Zastosowane liczne łączniki przyczyniły się do rozhermetyzowania profili zamkniętych i dostania się do ich wnętrza wody. Woda ta stała się przyczyną niekontrolowanego procesu korozyjnego wewnętrznych powierzchni elementów, a w okresach zimowych do rozerwania elementów na skutek jej zamarzania (rys. 4b, 4c, 4d).



a) zniszczony element wsporczy



b) rura prostokątna rozsadzony przez zamarzającą wodę



c) uszkodzenia na krawędzi kształtownika



d) woda w kształtownikach

Rys. 4. Zniszczenia elementów konstrukcji stalowej

Przypadek nr 4 - Hala produkcyjna w trakcie budowy

Nowobudowana hala produkcyjno - magazynowa miała być wyposażona w trakcie budowy w natorową suwnicę pomostową o nośności 10 ton (rys. 5c). W trakcie czynności związanych z ustawieniem wspomnianej suwnicy na torowisku doszło do uszkodzenia pasa dolnego kratownicy po uderzeniu 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 poziomie dolnego pasa kratownicy (rys. 5a, 5b). W przedstawionym przypadku zakres naprawy wymagał całkowitej wymiany uszkodzonych elementów.



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. 5. Hala stalowa po uszkodzeniu w trakcie prac montażowych

Przypadek nr 5 - Wieża oświetleniowa

Konstrukcja wsporcza dla wieży oświetleniowej o całkowitej wysokości 42 m została wykonana w postaci zbieżnego, po wysokości, pręta wielokątnego. Połączenia poszczególnych prefabrykowanych segmentów na długości trzonu wieży zostały zrealizowane poprzez nasunięcie na siebie kolejnych segmentów ukształtowanych postaci 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).



Rys. 6. Przykłady wadliwie wykonanych spoin czołowych łączących połowki segmentów

Przypadek nr 6 – konstrukcje wieżowe

Złej jakości profile rurowe zastosowane do wzniesienia konstrukcji wieży obserwacyjno – pomiarowej stały się przyczyną podjęcia decyzji o wyłączenia obiektu z eksploatacji. Na większości rur tworzących elementy nośne stwierdzono wzdłużne pęknięcia i nieciągłości w miejscu zgrzewu podłużnego kształtowników rurowych. Użytkownik w czasie dotychczasowej eksploatacji dokonywał lokalnych napraw w postaci wykonywania odcinkowych spoin w celu ratowania elementów przed całkowitym zniszczeniem w wyniku obciążenia (rys. 7).



Rys. 7. Rura w miejscu szwu podłużnego

Przypadek nr 7 - Komin spalinowy kotłowni osiedlowej

Komin, zlokalizowany jest przy małej kotłowni obsługującej niewielkie osiedle mieszkaniowe. Obiekt wykonano, wg projektu typowego, w końcu lat 80-tych ubiegłego wieku. Komin został zaprojektowany jako jednoprzewodowa rura spalinowa o średnicy 600 mm i wysokości 40 m wykonana ze stali zwykłej, o zmiennej grubości ścianek. Rura spalinowa została podparta przegubowo na fundamencie i dwukrotnie wsparta na otaczającej ją trójściennej wieży kratowej podtrzymującej komin do wysokości około 30 metrów (rys. 8). Użytkownik obiektu od czasu jego wzniesienia do chwili obecnej nie prowadził żadnych czynności kontrolnych wymaganych podczas prawidłowej eksploatacji, doprowadzając konstrukcje do stanu przed awaryjnego. W rezultacie w przeciągu dwóch miesięcy użytkownik został zmuszony do dwukrotnego skrócenia komina. Przyczyną podjęcia takiego działania było nadmierne wychylenie się jego wierzchołka spowodowane znaczną korozją rury dymowej (rys. 9a). Aktualny stan konstrukcji:

- rura spalinowa jest silnie przekorodowana - występują liczne perforacje ścianki komina (rys. 9b),
- stwierdzono przypadki pękniętych połączeń spawanych między elementami (rys. 9c),
- nieprawidłowo zamknięte przekroje rurowe w miejscu mocowania kotew młotkowych w blokach fundamentowych (rys. 9d),
- elementy nośne stalowej, przestrzennej kratownicy wsporczej wykonane zasadniczo z rur w przeważającej części pokryte są produktami korozji. Występująca korozja na charakter wżerowy o głębokości dochodzącej do 2 mm (rys. 9e),

- powłoki zabezpieczenia antykorozyjnego na większości elementów zostały przekorodowane i uległy zniszczeniu w wyniku działania agresywnej korozyjnie atmosfery występującej wokół komina,
- na elementach usuniętych występują znaczne ubytki materiału stalowego,
- elementy dodatkowego osprzętu silnie skorodowane lub zdewastowane.



Fot. 8. Widok ogólny obiektu



a) stan destrukcji zdemontowanej części trzonu kominowego



b) stan skorodowania eksploatowanej części spalinowej komina



c) pęknięcia na połączeniach spawanych



d) brak szczelności połączeń



Fot. 9. Wybrane uszkodzenia eksploatacyjne obiektu

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

Podsumowanie

Przedstawione powyżej wybrane przykłady realizacji i eksploatacji różnych konstrukcji metalowych, wskazują na ciągle występujące 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 oraz detali mających bezpośredni wpływ na warunki i koszty utrzymania. Występuje często brak szczegółowych wytycznych dla projektanta jakiego obiektu wymaga jego zamawiający – jakie, poza normowe warunki ma spełnić. Często projekty z uwagi na dużą ogólność, 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 zmian,

poprawiania czy też przeprojektowywania elementów, czy też kosztowniejszych opóźnień powstały w przypadku dostawy elementów niepasujących do siebie czy też nie spełniających warunków. Nie zawsze daje się 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 w celu wprowadzenia koniecznych poprawek. Poprawek, które często poprawiają jeden parametr konstrukcji psując jednocześnie inne. Nie zawsze jednak takie poprawki można wykonać i wówczas takie konstrukcje wymagają stosownego nadzoru i postępowania w czasie eksploatacji. Wiele dobrego dla konstrukcji jak i przyszłych jej użytkowników może wprowadzić konieczność wykonywania rzetelnej weryfikacji i oceny prac projektowych i wszelkich koniecznych opracowań nie wewnątrz biur projektowych czy przez „zaprzyjaźnione” 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 kompetentnych pracowników wykonujących poszczególne prace. Zarówno doświadczenie i kwalifikacje pracowników fizycznie wykonujących poszczególne prace wytwórcze jak i montażowe jak również doświadczenie ze strony kadry techniczno-inżynierskiej wykonawcy może 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. Również w tym przypadku należy zwrócić uwagę na kompetencje osób sprawujących te funkcje i ich zaangażowanie w prowadzone czynności kontrolne, które powinny odbywać się w 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 jej budowy. Jak pokazują wcześniejsze przykłady, rolą użytkowników nie jest tylko korzystanie z dobrodziejstw posiadania określonej infrastruktury technicznej, jakimi są poszczególne obiekty, lecz również prawidłowe ich eksploataowanie. Eksploataowanie, które nie będzie sprowadzało się tylko 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 do zakresu pracy i ograniczają się jedynie do czynności administracyjnych zagrożonych sankcjami prawnymi – obowiązkowe przeglądy. Również w tej fazie istnienia konstrukcji muszą znaleźć się osoby znające specyfikę poszczególnych obiektów czy też konstrukcji. Osoby umiejące odpowiednio reagować na powstające w czasie eksploatacji sytuacje i pojawiające się problemy, ale również prowadzić właściwą gospodarkę związaną z utrzymaniem obiektów.

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

BIBLIOGRAPHY

- [1] Kowalski D.: „Eksploatacja obiektu budowlanego weryfikacją prac projektowych i wykonawczych”, *XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna AWARIE BUDOWLANE 2007. Zapobieganie, diagnostyka, naprawy, rekonstrukcje*, Szczecin - Międzyzdroje, 23-26 maja 2007, s. 615-622.
- [2] Kowalski D.: „Wpływ imperfekcji wykonawczych na stan naprężeń w płaszczu stalowego zbiornika walcowego o osi pionowej”, Praca doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk, 2004
- [3] Kowalski D.: Wpływ redukcji kosztów wykonania stalowych konstrukcji budowlanych na ich właściwości eksploatacyjne i utrzymanie, *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej 605, Budownictwo Lądowe LXI*, Politechnika Gdańska, Gdańsk, 2007, s. 185-192.
- [4] Kowalski D.: „Zapewnienie jakości robót i materiałów w realizacjach budowlanych”, *Inżynieria Morska i Geotechnika*, vol. 34, no 5, 2013, pp. 362-365.
- [5] Litwin M., Górecki M.: Błędy wykonawcze podczas realizacji konstrukcji stalowych, *Budownictwo i Architektura*, nr 4, 2010.
- [6] PN-EN 1990:2004 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji,
- [7] Urbańska-Galewska E., Żółtowski K., Ziółko J., Kowalski D., Perliński A., Białek T., Dobiszewski K., Miśkiewicz M., Nowicki M.: „Analiza stanu technicznego hali Olivia po 40 latach użytkowania”, *XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane 2009. Zapobieganie, diagnostyka, naprawy, rekonstrukcje*, Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009, pp. 713-720.