

Uszkodzenia eksploatacyjne wybranych konstrukcji stalowych oraz sposoby ich naprawy

Dr hab. inż. Maciej Szumigała, dr inż. Zdzisław Kurzawa, Politechnika Poznańska

Wprowadzenie

W artykule opisano kilka przykładów uszkodzeń powstałych w trakcie eksploatacji różnego typu konstrukcji stalowych. Uszkodzenia były wynikiem długotrwałej, intensywnej eksploatacji obiektu. Powstały one także z powodu niedoskonałości rozwiązań projektowych i wykonawczych lub skutkiem zmian wynikających ze sposobu ich obciążenia. Do każdego z przykładów zamieszczono opis propozycji usunięcia stwierdzonych wad konstrukcji.

1. Wieża kratowa

Bardzo często skratowane wieże projektuje się z przekrojów zamkniętych, rurowych. Jest to przykład korzystnego wykonania prętów wieży ze względu na stosunkowo korzystną wielkość zewnętrznej powierzchni poddanej wpływowi korozji atmosferycznej. Zapomina się jednak o tym, że każda nieszczelność w połączeniach (węzłach) skratowania oraz brak otworów do odprowadzenia gromadzącej się (skutkiem tego) wewnątrz wody powoduje, że występują znaczne ubytki korozyjne wewnętrznej powierzchni rury. Podczas przeglądu licznych wież, zbudowanych w latach 1970–1980, w każdej z nich takie ubytki korozyjne wystąpiły. Świadczyły o tym wyniki kontrolnych nawierć (głównie krawężników rur) w pobliżu podstaw wież, z których wyciekła woda wraz z produktami korozji wnętrza rur. Przykłady nawierć pokazano na rysunku 1.

Uniknięcie korozji wnętrza rur jest praktycznie trudne do zrealizowa-



Rys. 1. Przykłady nawierć



Rys. 3. Błędy w połączeniach

nia, bowiem mikronieszczelności w węzłach mogą być niewidoczne „gołym okiem”. Część jednak nieszczelności wynika z nieprawidłowo wykonanych styków. Ich identyfikacja wtedy jest możliwa. Przykłady takich błędów obrazują rysunki 2–4.

W przypadku styków spawanych, ocena szczelności jest możliwa jedynie poprzez badanie struktury połączeń ultradźwiękowo lub radiologicznie. Wiadomo jednak, że wy-



Rys. 2. Błędy w połączeniach



Rys. 4. Błędy w połączeniach

konywanie tego zadania na obiekcie istniejącym jest zadaniem trudnym i kosztownym. Jeżeli zatem projekt zawiera rozwiązania prętów w formie rur spawanych w węzłach, to konieczne jest umieszczenie w najniższym położonym miejscu pręta (lub prętów) otworów rewizyjnych uniemożliwiających odprowadzenie wód i osadów korozyjnych. Ważna jest również kontrola ich drożności w trakcie eksploatacji. Jeżeli istniejące wieże nie

mają takich otworów, to należałoby je wykonać.

Z przedstawionych opisów wynika, że mniej wrażliwe na skutki takiej korozji są wieże wykonane z przekrojów walcowanych, otwartych. Obiekty o założonej dużej niezawodności powinny mieć dodatkowo zabezpieczoną powłokę metaliczną wewnętrzną powierzchni rur. W pozostałych obiektach należałoby się liczyć z możliwą intensywnością korozji wewnętrznej prętów wykonanych z rur i założyć odpowiednie (dla klasy obiektu) ubytki korozyjne. W badanych wieżach ubytki korozyjne po 15 latach eksploatacji wynosiły (w skrajnych przypadkach) do 3,5 mm.

2. Sprężony wiązark zespólny, stalowo-żelbetowy

W przeszłości podejmowano liczne próby stosowania stalowych konstrukcji sprężonych. Kierowano się teoretycznie słuszną zasadą, że wstępne wprowadzenie pola naprężeń o przeciwnych znakach w stosunku do stanu eksploatacji może prowadzić, na skutek ich superpozycji, do sumarycznego obniżenia naprężeń wypadkowych. Może być to powodem do zmniejszenia wymiarów przekrojów, a zatem do pozornych oszczędności. Przy projektowaniu tego typu konstrukcji wzorowano się na konstrukcjach żelbetowych.

Przedmiotowe wiązarki o rozpiętości 30,0 m zaprojektowano z prostym, lekko pochylonym (zgodnie ze spadkiem dachu) pasem górnym i parabolicznym pasem dolnym. Pasy połączono między sobą słupkami. Pola między odcinkami pasa górnego i dolnego oraz słupkami skratowano wiotkimi krzyżulcami z prętów okrągłych. Pas górny wiązarki wykonano z dwóch rozsuniętych ceowników [160 (w stadium montażu), tworzących wraz z bryłą betonu wypełniającego i pachwinowego między płytami panwiowymi przekrój zespólny (stadium eksploatacji). Pas dolny stanowiły dwa kątowniki nierów-

noramienne L120-80-10, tworzące przekrój otwarty od góry. Słupki zaprojektowano z dwóch kątowników L75-75-8, a krzyżulce z dwóch prętów $\varnothing 14$ mm. W rynnie utworzonej przez kątowniki pasa dolnego prowadzono pręty cięgien sprężających. Rynnę wraz z cięgnami wypełniono betonem.

Z uwagi na wiek konstrukcji i prowadzone prace remontowe, użytkownik obiektu zlecił ocenę stanu technicznego i wynikającego stąd stopnia bezpieczeństwa konstrukcji.

Biorąc pod uwagę ww. czynniki dokonano dokładnych badań i oględzin konstrukcji:

- przy pomocy grubościomierza ultradźwiękowego pomierzono grubości ścianek profili stalowych i sprawdzono ich zewnętrzne wymiary,
- przejrano konstrukcje w poszukiwaniu ognisk korozji i uszkodzeń mechanicznych,
- pomierzono geodezyjnie aktualną geometrię (przemieszczenia) konstrukcji,
- wykonano obliczeniowe symulacje i analizy statyczno-wytrzymałościowe.

Z zachowanej dokumentacji budowlanej uzyskano informację o projektowanej sile sprężającej oraz o przebiegu montażu, co pozwoliło zidentyfikować stadia pracy konstrukcji. Okazało się, że konstrukcja wiązarki została sprężona przed zamontowaniem na dachu. Następnie, po ustawieniu wiązarków na słupach i ułożeniu płyt dachowych zalano betonem pachwinę. Ostatecznie ułożono ocieplenie i pokrycie dachu.

Konstrukcja pracowała w I stadium (montażu) już jako sprężona. Z uwagi jednak na geometrię pasa dolnego sprężenie wywoływało jedynie naprężenia ściskające w pasie dolnym i rozciąganie w cięgnach. W pasie górnym pojawiły się nieznaczne naprężenia, co zapewniało jemu stateczność. Po ułożeniu płyt i wykonaniu nadbetonu pojawiają się naprężenia ściskające w pasie górnym o średniej wartości około 125 MPa i roz-

ciągające w pasie dolnym 30 MPa. Przy założeniu projektowanej siły sprężającej naprężenia we wszystkich prętach nie przekraczały wartości granicznych. Podstawowym problemem był sposób oceny aktualnej wartości siły sprężającej. Nie było dostępu do czoła wiązarów, aby ocenić jakość zakotwienia cięgien. Wypełnienie rynny pasa dolnego betonem uniemożliwiało dostęp do cięgien. Z drugiej strony brak zarysowań i odprysków betonu wypełniającego pas dolny mógł świadczyć o dobrym stanie cięgien (brak korozji). Podjęto próbę oceny wartości siły na podstawie przemieszczeń wiązarów pomierzonych geodezyjnie. Brak wyników początkowych oraz znaczne różnice dla poszczególnych wiązarów uniemożliwiły wiarygodną identyfikację wartości siły sprężającej. Biorąc pod uwagę znaczny wiek konstrukcji przeanalizowano przypadki skrajne:

- 50% projektowanej siły sprężającej,
 - 0% projektowanej siły sprężającej.
- Analiza obliczeniowa wykazała (0% projektowanej siły sprężającej) przekroczenie naprężeń jedynie w pasie dolnym (~260 MPa). Z powodu kształtu pasa dolnego, przekroczenie naprężeń wystąpiło we wszystkich prętach pasa dolnego. Pełna statyczna wyznaczalność konstrukcji nie gwarantowała żadnego zapasu bezpieczeństwa. Zalecono zatem wzmocnienie tylko pasa dolnego taśmami z włókna węglowego. Z powodu zauważonych deformacji niektórych wiązarów zalecono montaż dodatkowych stężeń.

3. Trwałość konstrukcji powłokowo-prętowych – spalinowych kominów stalowych

Szczególnie niską trwałość wykazują kominie stalowe. Wynika to ze szczególnie trudnych warunków eksploatacji i relacji kosztów wykonania nowego kominu do sposobów jego zabezpieczenia.

Jak wiadomo, ubytki grubości płaszcza komina odbywają się w miejscach, w których występują agresywne czynniki korozyjne. Tymi miejscami we wnętrzu komina są okolice czopucha (duża temperatura) lub okolice wylotu gdzie wraz z wodą spaliną mocno zsiarzone tworzą silne kwasy powodujące przyspieszoną korozję blachy komina. Osobną grupą wpływów to korozja zewnętrznych powierzchni komina spowodowana zjawiskami atmosferycznymi.

Uszkodzenia płaszcza komina, w czasie jego eksploatacji, powstają zazwyczaj na skutek kilku przyczyn jednocześnie. Jedną z przyczyn zaobserwowanych podczas ekspertyzy jednego z kominów była wysoka temperatura spalin z mocno zsiarzanego paliwa. Po blisko dwudziestoletnim okresie takiej eksploatacji w wielu miejscach skorodował płaszczyzna komina o 2÷5 mm. Skutkiem wysokiej temperatury gazów (prawdopodobnie zapłonu spalin) oraz wzrostu naprężeń w płaszczyźnie skutkiem znacznych ubytków korozyjnych powstały duże deformacje powłoki. Widoczne są one na rysunkach 5 i 6.

Pomierzone odkształcenia powłoki znacznie przekraczały dopuszczalne deformacje określone według PN-B/06200:2002, które duże fragmenty komina wyłączały z bezpiecznej eksploatacji.

W wyniku przeprowadzonych analiz wytrzymałościowych zalecono wymianę dwóch najbardziej zdeformowanych segmentów komina.

W celu utrzymania przewidywanej w projekcie trwałości komina należało bezwzględnie kontrolować agresywność oraz temperaturę zapłonu spalin w przewodzie, aby nie dopuścić do stanu przed awaryjnego komina. Dbałość o parametry eksploatacji komina zwiększa jego trwałość.

Inny sposób zwiększenia trwałości komina przedstawia kolejny przykład. Po kilku latach użytkowania stalowego komina o wysokości 45,0 m i średnicy 1200 mm



Rys. 5. Odkształcenia blach komina

z podporą pośrednią w postaci trójnogu zakwestionowano możliwość jego dalszej bezpiecznej eksploatacji. Zauważono bowiem drgania poprzeczne do kierunku wiatru przy stosunkowo małej prędkości. Przeprowadzona ekspertyza potwierdziła możliwość pojawiania się wirów Benarda-Karmana przy niewielkiej prędkości wiatru. Dokładniejsze obliczenia trwałości (zmęczenia) wykazały przekroczenie nośności na skutek stwierdzonych pomiarów ubytków korozyjnych grubości blach powłoki. Komin zlokalizowany był przy kotłowni zakładu produkcyjnego o ruchu ciągłym. Użytkownikowi zależało na przedłużeniu eksploatacji komina, gdyż planował w przyszłości zainstalować ogrzewanie gazowe i zlikwidować istniejący komin. W związku z tym przeanalizowano różne możliwości naprawy i zdecydowano się na montaż odciągów o małej średnicy lin. Podstawowym celem owego zabiegu było wprowadzenie dodatkowego tłumienia, które utrudniało wpadanie komina w rezonans. Po zamontowaniu odciągów komin był jeszcze eksploatowany bezpiecznie przez ponad 5 lat.

Montaż odciągów jako sposób na zwiększenie trwałości kominów wydaje się być interesujący pod warunkiem, że jest miejsce na dodatkowe odciągi. Ważny jest przemyślany dobór odciągów i kontrola naciągu wstępnego, gdyż zbyt



Rys. 6. Odkształcenia blach komina

duża składowa pionowa może doprowadzić do przekroczenia naprężeń i utraty stateczności lokalnej jak i ogólnej komina.

4. Podsumowanie

Jak wynika z przedstawionych przykładów, istnieją różne sposoby podniesienia trwałości eksploatowanych obiektów.

Nie zawsze tradycyjnie rozumiane wzmocnienie najbardziej wyężonych czy uszkodzonych elementów konstrukcji wystarcza lub jest konieczne. Sposób naprawy powinien być przemyślany, szczególnie przeanalizowany i poprzedzony dość dokładną analizą statyczno-wytrzymałościową oraz ekonomiczną. Ważnym elementem podniesienia trwałości obiektów jest jego poprawna eksploatacja.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Rykaluk K., Konstrukcje stalowe. Komin, wieże i maszty, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004
- [2] Kaufman S., Olszak W., Eimer Cz., Budownictwo Betonowe, Tom III Konstrukcje sprężone, Arkady 1965
- [3] PN-93/B-03201 Konstrukcje metalowe. Komin. Obliczenia i projektowanie
- [4] PN-EN 1993-3-2: 2008, Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 3-2 Wieże, maszty i komin

Praca wykonana w ramach tematu: 11-055/2010 DS