

# Korozja i zniszczenia kształtowników stalowych o przekrojach zamkniętych

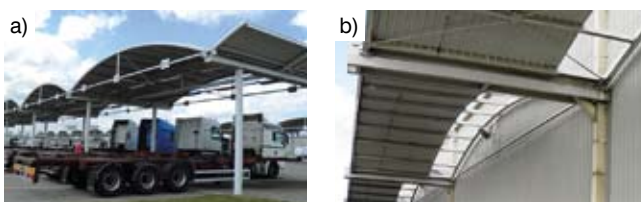
Dr inż. Dariusz Kowalski, Politechnika Gdańska

## 1. Wprowadzenie

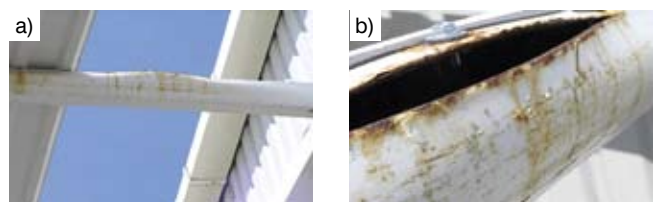
Stalowe profile zamknięte o przekrojach kołowych oraz kwadratowych i prostokątnych powszechnie stosowane są jako elementy konstrukcyjne, z których wykonuje się wiele konstrukcji nośnych zarówno eksploatowanych wewnątrz pomieszczeń – gdzie odizolowane są od warunków atmosferycznych typu woda, zmiany temperatury, oraz na zewnątrz obiektów – gdzie czynniki środowiskowe mają decydujące znaczenie w kontekście wymaganego zabezpieczenia antykorozyjnego, a także wpływ na zmianę ich wartości użytkowych w czasie. Kształtowniki o przekrojach zamkniętych stosowane są prawie we wszystkich rodzajach elementów konstrukcyjnych począwszy od prostych – np. płatwie, słupy, po złożone jak kratownice, przestrzenne i wielopowierzchniowe struktury nośne, struktury powłokowe, wieże, maszty oraz mosty. Obecnie wręcz niewyobrażalne jest wykonywanie takich elementów jak bariery, poręcze, drabiny bez zastosowania kształtowników o przekroju poprzecznym zamkniętym. W porównaniu z kształtownikami otwartymi charakteryzują się one wieloma cechami podnoszącymi ich wartości użytkowe, takimi jak:

- korzystniejsza charakterystyka wytrzymałościowa, zwłaszcza przy ściskaniu i skręcaniu – co przekłada się na mniejsze zużycie materiału (mniejszy wymiar gabarytowy, cieńsze ścianki), co z kolei powoduje oszczędności na ciężarze elementów rzędu 20–40%,
- szeroki wachlarz dostępnych profili charakteryzujących się dużym zakresem zmienności wymiarów gabarytowych jak i grubości ich ścianek,
- łatwiejsze i mniejsze ilościowo zabezpieczenie antykorozyjne ograniczające się w większości przypadków do powierzchni zewnętrznych,
- korzystny kształt z uwagi obciążenie aerodynamiczne,
- występowanie powierzchni płaskich, i inne.

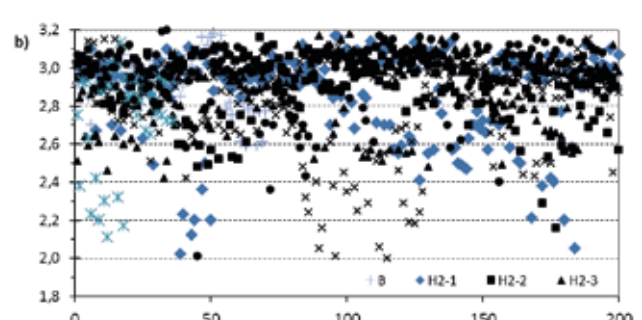
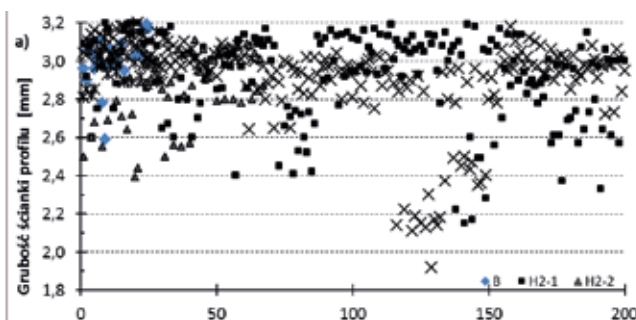
Znanym zagadnieniem jest większy koszt wykonania konstrukcji, z uwagi na wyższe ceny samych kształtowników oraz większe koszty wytworzenia elementów konstrukcyjnych, który dotyczy głównie okrągłych profili rurowych wymagających odpowiedniej technologii kształtowania połączeń szczególnie w stykach bez blach węzłowych. Wymienione zalety i wady powodują w dużej mierze wyrównanie kosztów powstania



**Rys. 1.** Widok analizowanych konstrukcji zadaszenia: a) nad parkingiem, b) przy budynku halowym



**Rys. 2.** Przykład zniszczenia kształtownika rurowego w wyniku korozji i zamarzającej wewnątrz wody



**Rys. 3.** Przykładowy rozkład pomiarów grubości ścianek profili: a) pomiar pierwszy, b) pomiar po dwóch latach

przyszłej konstrukcji. Zastosowanie elementów o przekroju zamkniętym wymaga właściwego podejścia zarówno na etapie projektowym, jak i wykonawczym, a jak opisano w dalszej części artykułu również dotyczyć to powinno etapu utrzymania i eksploatacji.

## 2. Zastosowanie przekrojów zamkniętych w budownictwie konstrukcyjnym i ich zabezpieczenie

W środowisku projektantów i wykonawców stalowych konstrukcji wykorzystujących kształtowniki o przekroju zamkniętym panuje powszechny pogląd, iż nie ma potrzeby zabezpieczać wewnętrznych powierzchni pod warunkiem zapewnienia szczelnych połączeń i zamknięcia profili. Z takim stanowiskiem można również spotkać się również w literaturze [1]. Szczelne zamknięcie rurowych profili stalowych ma spowodować brak możliwości dostępu do wewnętrznych powierzchni kształtownika zarówno wody (pary wodnej), jak i szczególnie tlenu z powietrza, które to odpowiadają zarówno za korozję chemiczną, jak i elektrochemiczną. Również występująca na wewnętrznych powierzchniach profili zendra walcownicza uważana była za element chroniący materiał stalowy przed dostępem czynników korozyjnych [2]. Przy budowie obiektów mostowych, w elementach nieprzełazowych i niezabezpieczanych antykorozyjnie od wnętrza, stosowana jest często technika przedmuchiwania elementów przed ich ostatecznym zamknięciem przy zastosowaniu azotu, w celu zarówno osuszenia wnętrza elementów, jak i usunięcia części tlenowej z powietrza odpowiadającej za rozwój korozji [3]. Szczelne zamknięcie elementów ma ograniczyć zakres zmian korozyjnych jedynie do zawartej we wnętrzu ilości tlenu, która mogłaby spowodować jedynie ograniczone skutki w zakresie utlenienia materiału stalowego. Do głównych zadań wykonawcy należało zadbanie o to, aby zamknięte elementy nie były mokre, wypełnione wodą, oraz były szczelnie zamknięte za pomocą spoin łączących poszczególne elementy składowe konstrukcji.

## 3. Problem rozwoju korozji i destrukcji kształtowników – studium przypadku

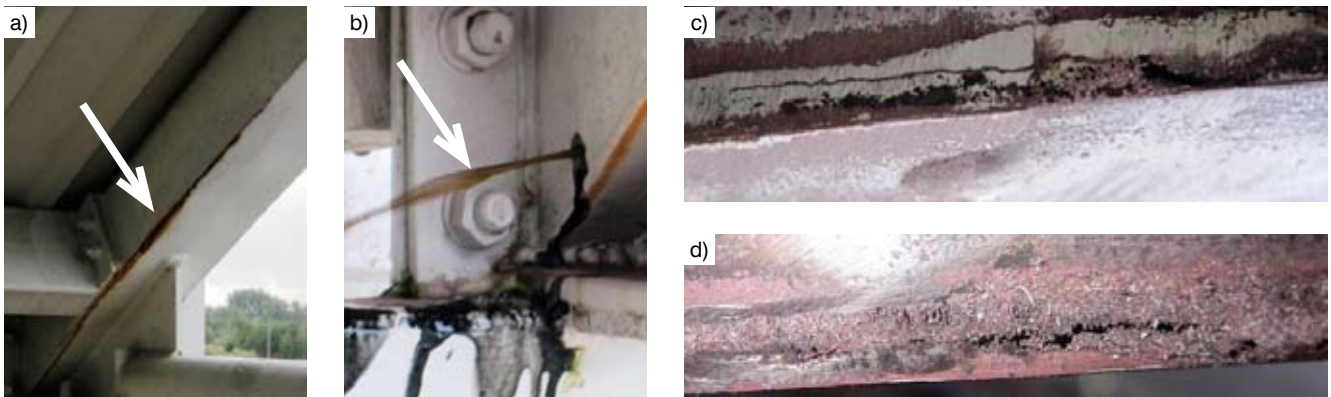
W analizowanym przypadku kształtowniki stalowe o przekroju poprzecznym prostokątnym zostały zastosowane do wykonania zewnętrznej konstrukcji nośnej przekryć nad miejscami postojowymi. W tej samej formie, jako element architektoniczno-ochronny przekrycia takie zastosowano dookoła obiektów halowych (rys. 1). Na górnej powierzchni łukowego rusztu z kształtowników zamkniętych została ułożona stalowa blacha trapezowa, która miała odpowiadać za ograniczenie oddziaływań środowiskowych, zwłaszcza w postaci deszczu i śniegu. Blacha, zgodnie z uznaną i powszechnie stosowaną w budownictwie techniką, została zamocowana do belek nośnych za pomocą wkrętów samowiercących

wyposażonych w podkładki stalowe pod łbem sześciokątnym, które odpowiadają za właściwy docisk umieszczonych pod nimi uszczelek neoprenowych. Rozwiązanie takie, oparte na atestowanych łącznikach, uznawane jest za szczelne i wykorzystywane powszechnie w budownictwie do mocowania elementów blaszanych zarówno na ścianach, jak i dachach. W opisywanym przypadku po około dziesięciu latach eksploatacji, na konstrukcji nośnej z kształtowników zamkniętych zaobserwowano pierwsze przypadki spęczenia profili, będące objawem dostania się do wnętrza dużych ilości wody, która zamarzając w zimie spowodowała pierwsze deformacje kształtu poprzecznego profili zamkniętych. Wykonane wówczas przeglądy ujawniły, iż w ich wnętrzu, w około 35% zastosowanych elementów zamkniętych, znajdowała się woda. Woda ta została spuszczana poprzez wykonane wówczas otwory drenażowe usytuowanych w najniższych miejscach konstrukcji. W trakcie dalszej eksploatacji obiektu liczba uszkodzeń powiększała się, doprowadzając jednocześnie do większych zniszczeń zarówno w zakresie ciągłości profili (rys. 2), jak i ubytku grubości ścianek stalowych. Ubytek grubości ścianek najszybciej rozwija się na wewnętrznych powierzchniach analizowanych elementów. W większości przypadków nie występują ubytki korozyjne na powierzchniach zewnętrznych, na których bardzo często istnieje jeszcze dobra, szczelna i przyczepna pierwsza powłoka malarskiego zabezpieczenia antykorozyjnego. Okresowe pomiary grubości ścianek profili zamkniętych wykonane metodą ultradźwiękową ujawniły postępujący w czasie proces korozyjny, do którego dochodziło na wewnętrznych powierzchniach rurowych elementów stalowych (rys. 3).

W skrajnych przypadkach dochodziło do zniszczenia elementów nośnych konstrukcji na skutek zarówno oddziaływań korozyjnych prowadzących do obniżenia wytrzymałości poszczególnych elementów składowych profili jak i sił powodowanych zamarzającą w okresach zimowych wodą oraz zmiennych oddziaływań środowiskowych, na jakie są narażone te elementy (rys. 4, 5).

## 4. Ocena przyczyn destrukcji elementów

Główną przyczyną niekontrolowanego rozwoju korozji i uszkodzeń zastosowanych kształtowników zamkniętych jest brak ich należytej szczelności w obrębie łączników wkręcanych w profile. W analizowanym przypadku na etapie projektowania [4], a następnie podczas realizacji inwestycji dopuszczono do zastosowania rozwiązanie nie dające wysokiej gwarancji szczelności w całym planowanym okresie eksploatacji. Aspekt ten nie został w ogóle podjęty przez projektanta w dokumentacji projektowej [5]. Oddziaływania środowiskowe przyczyniły się w pierwszej kolejności do poluzowania, a także do zerwania części połączeń. Część łączników uległa również skorodowaniu. Materiał uszczelki z EPDM-u stał się kruchy i sztywny, przez co nie



**Rys. 4.** Przykładowy ciąg przyczynowo-skutkowy odkrywania zakresu zniszczeń korozyjnych i destrukcji elementu: a) objawy korozji powierzchniowej na krawędzi elementu, b) identyfikacji problemu zalegania wody w elemencie, c) pęknięcie w materiale zakończone zniszczeniami korozyjnymi, d) przekorodowanie materiału



**Rys. 5.** Przykłady utraty ciągłości materiału stalowego na szwach spawalniczych

zapewniał odpowiedniego uszczelnienia wokół otworów. Czynniki te przyczyniły się do tego, że woda spływająca po blaszonym poszyciu o małym nachyleniu penetrowała po wkrętach do wnętrza elementów rurowych. Brak wymaganej szczelności spowodował dostawanie się do wnętrza również nowych porcji tlenu, który wraz z wodą przyczynił się do rozwoju reakcji korozyjnych. Nieszczelne elementy wystawione na oddziaływanie termiczne, związane z operacją słoneczną, narażone były również na zjawisko zasysania do wnętrza wilgotnego powietrza w okresach dobowego ochłodzenia, które następowało wyniku wyrównywania się ciśnień w otwartej przestrzeni gazowej pomiędzy dobowymi okresami gorącymi i zimnymi. Zassane wilgotne powietrze było kolejnym źródłem powstawania pary wodnej, która skraplała się na powierzchniach wewnętrznych kształtowników, przyczyniając się zarówno do rozwoju korozji, jak i wzrostu ilości wody w elementach. Ponadto w okresie zimowym zmagazynowana woda, w wyniku zamarzania i wzrostu objętości, stanowiła destrukcyjną siłą powodującą deformacje i zniszczenia profili stalowych. Zniszczenia profili objęły w dużej mierze naroża gięte elementów oraz szwy spawalnicze wykonywane na etapie produkcji kształtowników (rys. 5).

## 5. Podsumowanie

Przedstawione powyżej, wybrane spośród wielu innych na analizowanym obiekcie, przykłady uszkodzeń korozyjnych i destrukcji elementów wykonanych

z kształtowników zamkniętych pokazują, jak istotne jest kompleksowe spojrzenie na wszystkie detale konstrukcyjne przyszłego obiektu również pod kątem ich szczelności. W analizowanym przypadku to właśnie zaniedbanie tego warunku stało się w chwili obecnej dużym problemem utrzymaniowym dla użytkownika w związku z koniecznością monitorowania uszkodzeń oraz naprawy i wymiany nadmiernie uszkodzonych elementów. Poprawnym rozwiązaniem konstrukcyjnym tego przypadku byłoby zaprojektowanie belek wsporczych z przekrojów otwartych, np. ceownik, dwuteownik, zetownik, lub dospawanie do profili rurowych dodatkowych blach w poziomie górnej płaszczyzny, dedykowanych wyłącznie pod łączniki wkręcane. W obu tych proponowanych rozwiązaniach ewentualna woda z nieszczelności w poszyciu przeciekałaby, nie powodując destrukcji elementów nośnych.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Tournay M., Internal resistance to corrosion in steel hollow sections, 2002
- [2] Bródka J., Broniewicz M., Konstrukcje stalowe z rur, Warszawa, Arkady, 2001
- [3] Zalecenia do wykonywania i odbioru antykorozyjnych zabezpieczeń konstrukcji stalowych drogowych obiektów mostowych Zarządzenia nr 15 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 8.03.2006 r., Warszawa
- [4] Kowalski D., Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej Budownictwo Łądowe, Politechnika Gdańska, 2007, 185
- [5] Urbańska-Galewska E., Kowalski D., Dokumentacja projektowa konstrukcji stalowych w budowlanych przedsięwzięciach inwestycyjnych, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2015