

Typowe błędy realizacyjne w prętowych konstrukcjach hal stalowych



dr inż.
MACIEJ CWYL
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Lądowej
ORCID: 0000-0002-2894-7840



dr inż.
STANISŁAW WIERZBICKI
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Lądowej
ORCID: 0000-0002-7076-0641



inż.
HUBERT BRODACKI
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Lądowej
Kołło Naukowe Konstrukcji Metalowych
ORCID: 0009-0007-4985-2799



inż.
KAROLINA KRZYŻANOWSKA
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Lądowej
Kołło Naukowe Konstrukcji Metalowych
ORCID: 0009-0005-8080-1418



MICHAŁ MACHOŃ
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Lądowej
Kołło Naukowe Konstrukcji Metalowych
ORCID: 0009-0003-9712-1289

W artykule przedstawiono wybrane rodzaje błędów realizacyjnych występujących w stalowych konstrukcjach prętowych oraz wskazano metody ich naprawy. Pracę wykonano na podstawie materiałów zebranych w trakcie przeglądów technicznych użytkowanych budynków, których konstrukcje nie wykazywały żadnych oznak awarii.

Budynki halowe, w tym w szczególności hale użyteczności publicznej, np. sportowe czy handlowe, cechują się dużą różnorodnością w kształtowaniu ustrojów nośnych, na ogół projektowanych indywidualnie zgodnie z wizją zamawiającego i architekta. Wyróżniają się one oryginalnością nie tylko ze względu na walory estetyczne, ale także z powodu zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych [1], [5]. Mogą to więc być zarówno typowe rozwiązania słupowo-ryglowe, bardziej złożone płaskie i przestrzenne konstrukcje kratowe, ustroje łukowe i cięgnowe, jak i rozwiązania mieszane, zawierające współpracujące ze sobą różne systemy konstrukcyjne. W drugiej połowie XX wieku szersze zastosowanie znalazły przestrzenne ustroje konstrukcyjne w postaci prętowych przykryć strukturalnych, które z racji swoich walorów estetycznych i ekonomicznych najlepiej sprawdzały się w budynkach użyteczności publicznej i czasami przemysłowych o dużych powierzchniach. Wraz z rozwojem technologii i metod projektowania powstawały coraz bardziej różnorodne i skomplikowane konstrukcje, które jednocześnie stawały się mniej odporne na różnego typu błędy popełniane we wszystkich fazach ich realizacji, a więc projektowania, wytwarzania i wznoszenia.

W artykule przedstawiono wybrane nieprawidłowości w węzłach stalowych konstrukcji prętowych z przetomu XX i XXI wieku, wskazano możliwości ich naprawy oraz omówiono ogólne przyczyny powstania tego typu błędów.

Charakterystyka nieprawidłowości węzłów

Pierwszy z przykładów dotyczy węzła podporowego przestrzennej konstrukcji prętowej w miejscu jej połączenia z dźwigarem kratowym, również przestrzennym. Na rys. 1. przedstawiono nieprawidłowo zmontowane elementy węzłowe konstrukcji prętowej i ich kolizje z pasem dźwigara.

Nieprawidłowość montażu wynika z niewłaściwie spasowanych elementów węzłowych przestrzennej konstrukcji prętowej i dźwigara nośnego. W przypadku stwierdzenia tego typu nieprawidłowości (rys. 1.) należy je w pierwszej kolejności poddać wizualnej ocenie bezpieczeństwa, sprawdzając stan spoin oraz geometrię zastosowanych blach. Jeśli nie występują trwałe, plastyczne odkształcenia i nie



Rys. 1. Widok nieprawidłowo dopasowanych elementów połączenia na węzle podporowym



Rys. 2. Zbyt duże otwory na łączniki śrubowe

ma oznak przeciążenia spoin, np. pęknięć, to na kolejnym etapie należy wyznaczyć siły w węźle i określić poziom wykorzystania nośności w elementach węzłowych i przylegających do węzła prętach konstrukcji, z uwzględnieniem ewentualnych mimośrodków wynikających ze zmiany geometrii. W przypadku braku przekroczeń warunków nośności naprawa węzła może się ograniczać do takich zabiegów, które zapewnią właściwą współpracę łączonych elementów i scalających je łączników. Należy więc wyeliminować szczeliny między współpracującymi elementami węzłowymi i deformacje tych elementów, dopasowując kolidujące elementy węzłowe, stosując odpowiednie przekładki z blach, a w niektórych przypadkach wypełnienia szczelin masami z żywic przeznaczonymi do napraw elementów metalowych. Wszystkie łączniki śrubowe pracujące w takich nieprawidłowo wykonanych węzłach powinny być wymienione na nowe, zapewniające odpowiedni poziom nośności złącza, a przede wszystkim prawidłowo osadzone, tj. o odpowiedniej długości i prostopadle do elementów złącznych. Wszelkie tego typu prace powinny być prowadzone przy odciążonej konstrukcji.

Drugi rodzaj uszkodzeń występujących w tego rodzaju złożonych konstrukcjach dotyczy łączników śrubowych. Ze względu na skomplikowaną technologię montażu i problemy z utrzymaniem dokładności wykonania na poziomie zgodnym z wymaganiami projektowymi i normowymi nierzadko spotyka się w obiektach, szczególnie z tamtego okresu, „modyfikacje” polegające na montażowym dopasowywaniu otworów polegającym na ich rozwiercaniu, wydłużaniu, a nawet „wypalaniu” lub wykonywaniu dodatkowych otworów w bezpośrednim sąsiedztwie już istniejących, często bez zachowania minimalnych odległości od krawędzi elementów węzłowych. Są to trwale zmiany w obrębie węzła, które obniżają nośność blach węzłowych, zmieniają układ sił



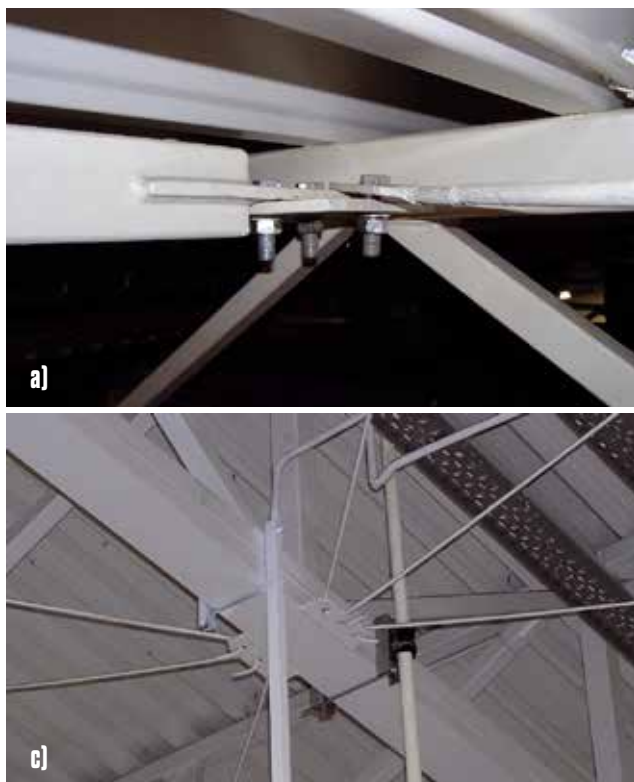
w łącznikach śrubowych, spoinach oraz elementach węzłowych. Przykład tego rodzaju modyfikacji montażowych pokazano na rys. 2.

Powiększanie otworów na śruby w trakcie montażu prowadzi do nierównomiernego obciążenia łączników, ich ukosowania, a co za tym idzie, zmiany stanu obciążenia i zginania trzpieni, które w typowych połączeniach śrubowych nie powinno występować. Często dochodzi też do częściowego przeciągnięcia tła lub śruby poprzez powiększony otwór, a nawet do plastycznego wygięcia trzpienia. Naprawy tego typu nieprawidłowości węzłów są bardzo trudne ze względu na brak możliwości odtworzenia pierwotnej geometrii połączenia. Rozwiązaniem może tu być zastosowanie łączników o większych średnicach (przy nadmiernie powiększonych otworach) i w wyższej klasie. Często wiąże się to jednak z koniecznością dodatkowego rozwiercania otworów w części elementów złącznych, umożliwiającego założenie śrub o większej średnicy. Przy braku możliwości zastosowania większych łączników należy rozważyć zastosowanie podkładek obejmujących przykrycie całości rozwierconego otworu, co pozwoli na częściową poprawę pracy tych łączników, niwelując przekrzywienie śrub i likwidując problem wciskania tłów/nakrętek w zbyt duże otwory. Rozwiązanie takie nie zapewni jednak równomiernego obciążenia poszczególnych łączników, co oznacza, że może być zastosowane jedynie w takich przypadkach, w których rezerwy nośności we współpracujących elementach, w szczególności w śrubach, są na tyle duże, że mimo nierównomiernego ich obciążenia będzie zapewnione bezpieczeństwo konstrukcji. Rozwiązaniem ostatecznym jest zastąpienie śrub połączeniami spawanymi. Decyzję o takim rozwiązaniu należy jednak podejmować rozważnie, ponieważ wiąże się to ze zwiększeniem sztywności złącza i z wprowadzeniem spoin w miejscach, w których nie były one przewidziane projektowo, a więc często w pobliżu innych, wcześniej wykonanych spoin. Ponadto



Rys. 3. Nieprawidłowe otworowanie elementów węzłowych





Rys. 4. Nieprawidłowe zamocowanie elementów stężących w zadaszeniu budynku halowego

polegający na zastosowaniu mocowania hakowego [3] zamiast klasycznego rozwiązania z blachami węzłowymi spawanymi do prętów. Przedstawiony sposób połączenia nie gwarantuje właściwego przeniesienia sił ze stężeń na blachy węzłowe, ponieważ hak może się przesuwać w otworze, a przy większych obciążeniach będzie się odginał, nie zapewniając stabilnego przekazania obciążeń. Naprawa w takim wypadku polega na wymianie haków na blachy węzłowe.

Użytkowanie hal stalowych w dłuższym okresie wiąże się również z możliwością wystąpienia korozji w obrębie niewłaściwie wykonanych lub nieprawidłowo zabezpieczonych połączeń, np. w szczelinach, w których może dochodzić do długotrwałego utrzymywania się wilgoci. Korozja taka jest szczególnie niebezpieczna dla spoin i łączników śrubowych, a więc elementów o relatywnie małych przekrojach, w których nawet niewielkie ubytki korozyjne mogą znacząco wpływać na obniżenie nośności. Przykład korozji łączników śrubowych przedstawiono na rys. 5.

Skorodowane łączniki bezwzględnie wymagają wymiany, a blachy węzłowe oczyszczenia z powierzchniowej korozji (po częściowym demontażu) i ponownego ich zabezpieczenia z wykorzystaniem odpowiednich powłok malarskich. Ze względu na brak realnej możliwości uzyskania właściwego stopnia oczyszczenia trudno dostępnych powierzchni stosowane farby muszą być odpowiednio do aplikacji w takich warunkach i powinny gwarantować długotrwałą i skuteczną ochronę nawet słabo oczyszczonych i odtłuszczonych powierzchni. Stosowane specjalistyczne narzędzia do czyszczenia i lakierowania muszą być odpowiednie do niewielkich powierzchni.

Na rys. 6. przedstawiono przykładowe połączenia śrubowe z niedokręconymi nakrętkami. Najczęstszą przyczyną luzowania się nakrętek jest ich niewłaściwe dokręcenie [2] (rys. 6a – połączenie sprężone), jak również drgania konstrukcji wywoływane pracą zamocowanych do niej urządzeń, dynamicznymi oddziaływaniami porywów wiatru lub obciążeniami użytkowymi (rys. 6b – połączenie niesprężone). Należy tu zaznaczyć, że o ile w przypadku połączeń sprężonych prawidłowo dokręcone nakrętki nie ulegają samoczynnemu odkręcaniu, o tyle w połączeniach niesprężanych może dochodzić do luzowania się nakrętek w trakcie eksploatacji konstrukcji, powinny być więc stosowane

takie rozwiązanie pozbawia konstrukcję jej bardzo ważnej cechy, jaką jest rozbiornalność, gwarantowana dzięki montażowym połączeniom śrubowym.

Niebezpiecznymi usterkami są też niewłaściwie wykonywane otworzenia elementów węzłowych (rys. 3), które mogą znacząco obniżyć nośność połączenia. Rodzaj nieprawidłowości pokazany na rys. 3. jest bardzo trudny do usunięcia, w związku z czym na ogół w pierwszym podejściu przeprowadza się sprawdzenie, czy mimo niewłaściwie wykonanych otworów połączenie spełnia wymagane warunki nośności. W przypadku negatywnego wyniku takiego sprawdzenia konieczna jest naprawa wadliwie wykonanego elementu węzłowego, polegająca na jego wzmocnieniu lub wymianie. W przypadku konieczności wymiany istniejąca konstrukcja wymaga odciążenia na czas prowadzenia prac naprawczych.

Z nieprawidłowościami w obrębie węzłów wiążą się też proste błędy scalania elementów konstrukcyjnych wynikające z niedbalej pracy ekip montażowych lub niewłaściwego wykonania elementów w wytwórni czy też nieprawidłowe rozwiązania projektowe powielone na montażu. Przykład niewłaściwego scalania elementów pokazano na rys. 4., gdzie przedstawiono nieprawidłowy montaż stężenia ciągnowego (rys. 4a). W tym wypadku zamocowanie stężenia od dołu blachy węzłowej zapewniłoby prawidłową pracę łącznika śrubowego, a co za tym idzie, także pręta stężącego [2].

Na tym samym rysunku przedstawiono też inne błędy dotyczące mocowania stężenia do blachy węzłowej i płatwi kratowej do rygla stanowiącego jej podparcie (rys. 4b). W tym wypadku, zarówno przy mocowaniu stężenia, jak i płatwi, zamiast dwóch łączników śrubowych zamontowano tylko po jednym z nich, co oznacza co najmniej dwukrotne obniżenie nośności takich połączeń. Przyczyną jest tu niewłaściwe przygotowanie elementów w wytwórni, skutkujące brakiem możliwości zamontowania śrub w niewspółosiowo wykonanych otworach [2]. Naprawa tego typu błędów wymaga uzupełnienia brakujących śrub po uprzednim współosiowym wykonaniu otworów. W przypadku zbyt małej odległości tych otworów od innych istniejących otworów konieczna jest ocena nośności takiego złącza lub naprawa blach węzłowych z wadliwie wykonanymi otworami. Na rysunku 4c przedstawiono kolejny błąd dotyczący mocowania stężeń,



Rys. 5. Korozja łączników śrubowych i elementów węzłowych



Rys. 6. Potężenia śrubowe z luźnymi nakrętkami

zabezpieczenia przed takim samoczynnym odkręcaniem się nakrętek, szczególnie jeżeli konstrukcja może być narażona na jakiegokolwiek czynniki powodujące drgania.

Podsumowanie

Celem artykułu było zwrócenie uwagi na wybrane rodzaje nieprawidłowości w stalowych konstrukcjach prętowych, zaobserwowane podczas przeglądów technicznych użytkowanych budynków, których konstrukcje nie sygnalizowały oznak awarii. Przedstawione przykłady dotyczyły różnorodnych błędów i usterek realizacyjnych. Większość opisanych nieprawidłowości była efektem niezgodnego z dokumentacją wytworzenia konstrukcji lub wynikała z niedokładności montażu nakładających się na standardowe odchyłki warsztatowe konstrukcji. Widoczne na przedstawionych przykładach montażowe podejście do rozwiązywania problemów wynikających z nadmiernych odchyłek, polegające na powiększaniu lub powielaniu otworów, pomijaniu śrub, których montaż był utrudniony, lub wyginaniu elementów złącznych, prowadziło do pogorszenia bezpieczeństwa konstrukcji i obniżenia jej nośności. Część z przedstawionych nieprawidłowości nie wiązała się z odchyłkami wykonawczo-montażowymi, ale była efektem nonszalanckiego podejścia do montażu albo projektowania konstrukcji. Jeszcze inna grupa nieprawidłowości była efektem długookresowego użytkowania konstrukcji z określonymi wadami montażu, jak np. luzowanie się niewłaściwie dokręconych nakrętek w połączeniach sprężonych lub odkręcanie się nakrętek niezabezpieczonych w połączeniach niesprężonych czy też korozja złej jakości śrub i nienależycie zabezpieczonych blach węzłowych.

Większość przedstawionych nieprawidłowości istniała już w momencie wytwarzania i montażu konstrukcji i była bardzo łatwa do wyeliminowania na etapie odbiorów. Brak dostatecznego nadzoru na tym etapie spowodował jednak, że konstrukcje z takimi nieprawidłowościami zostały dopuszczone do użytkowania. Sytuacja, w której użytkownik eksploatuje obiekt, nie mając świadomości, że nie jest on wolny od wad, mogłaby w określonych przypadkach wystąpienia maksymalnych obciążeń prowadzić nawet do zagrożenia bezpieczeństwa [4]. Oddzielną grupą nieprawidłowości są te, które ujawniają się dopiero po pewnym czasie, jak np. korozja niewłaściwie zabezpieczonych elementów – mimo że są one zwykle mniej groźne, to z czasem także prowadzą do obniżenia nośności konstrukcji.

Większość tego typu błędów i nieprawidłowości może być łatwo wyeliminowana na etapie realizacji inwestycji. W przypadku pozostawienia ich w konstrukcji i konieczności przeprowadzenia prac naprawczych w okresie użytkowania obiektu pojawiają się bardzo duże koszty związane zarówno z przeprowadzeniem samych prac naprawczych, jak i z koniecznością częściowego wyłączenia obiektu z użytkowania. Koszt ten jest jednak i tak niewielki w porównaniu z potencjalnymi skutkami pozostawienia konstrukcji z wadami i jej awarii. W tym kontekście widać, jak duże znaczenie ma właściwy poziom nadzoru w całym procesie realizacji inwestycji.

Bibliografia

- [1] <https://chodor-projekt.net/encyclopedia/przekrycia-strukturalne/>.
- [2] Wierzbicki S., Król P.A., Żóttowski W., Kotdej A., Błędy wykonawcze przyczyną stanu przedawaryjnego konstrukcji stalowej hali, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, 2009, s. 907–914.
- [3] Żóttowski W., Wierzbicki S., Król P., Witkowski J., Błędne założenia projektowe przyczyną awarii konstrukcji hali, XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, 2007, s. 699–709.
- [4] Wierzbicki S., Giżejowski M., Cwyl M., Stachura Z., Uproszczenia projektowe przyczyną awarii stalowej konstrukcji hali, „XXIX Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, 2019, s. 219–230.
- [5] Łubiński M., Żóttowski W., Konstrukcje metalowe. Część II: Obiekty Budowlane, Warszawa, Arkady, 1992.

DOI: 10.5604/01.3001.0053.8468

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Cwyl Maciej, Wierzbicki Stanisław, Brodacki Hubert, Krzyżanowska Karolina, Machoń Michał, 2023, Typowe błędy realizacyjne w prętowych konstrukcjach hal stalowych, „Builder” 9 (314). DOI: 10.5604/01.3001.0053.8468

Streszczenie: W artykule przedstawiono wybrane rodzaje błędów realizacyjnych występujących w stalowych konstrukcjach prętowych oraz wskazano metody ich naprawy. Pracę wykonano na podstawie materiałów zebranych w trakcie przeglądów technicznych użytkowanych budynków, których konstrukcje nie wykazywały żadnych oznak awarii. Na wstępie przedstawiono krótki zarys historii budowy obiektów użyteczności publicznej o stalowych konstrukcjach nośnych, w szczególności o ustrojach strukturalnych. Następnie na przykładach omówiono wybrane błędy i nieprawidłowości występujące w konstrukcjach tego typu obiektów oraz przedstawiono możliwe rozwiązania naprawcze. W podsumowaniu sformułowano wnioski z poczynionych obserwacji, wskazano na generalne przyczyny i skutki występowania tego typu nieprawidłowości i błędów w konstrukcjach, a także konsekwencje takiego stanu rzeczy dla użytkownika obiektu.

Słowa kluczowe: stalowa konstrukcja prętowa, błędy realizacyjne konstrukcji, metody naprawy konstrukcji

Abstract: TYPICAL IMPLEMENTATION ERRORS IN BAR STRUCTURES OF STEEL BUILDINGS. The article presents selected

types of implementation errors occurring in steel bar structures and indicates the methods of their repair. This work is based on materials collected during technical inspections of the facilities which did not show any signs of failure. At the beginning, a brief outline of the history of the construction of public utility buildings with steel load-bearing structures, in particular structural systems, is presented. Then, on the basis of examples, selected errors and irregularities occurring in the structures of this type of objects were discussed and possible repair solutions were presented. In the summary, conclusions from the observations were formulated, the general causes and effects of this type of irregularities and errors in structures were indicated, as well as the consequences of such a situation for the facility's user.

Keywords: steel bar structure, implementation errors in structures, repair methods of structure