

Błędy wykonawcze podczas realizacji konstrukcji stalowych

Małgorzata Litwin, Marcin Górecki

*Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej,
Katedra Konstrukcji Budowlanych, Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin,
e-mail: litwin.malgorzata@gmail.com, mrc.gorecki@gmail.com*

Streszczenie: Konstrukcje stalowe posiadają wiele zalet, które często przesądają o ich zastosowaniu w realizowanych obiektach. Jednocześnie wymagają one dużej dokładności zarówno w zakresie projektowania jak i wykonania. Niezbędna precyzja jest często przyczyną błędów projektowych i wykonawczych. W niniejszym artykule opisano błędy wykonawcze, które najczęściej występują podczas realizacji konstrukcji stalowych. Artykuł wzbogacony jest o fotografie z realizacji obiektów, w których materiałem konstrukcyjnym jest stal. Przedstawione są najczęściej popełniane błędy.

Słowa kluczowe: konstrukcje stalowe, błędy wykonawcze.

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach sytuacja na rynku polskim sprzyjała realizacji wielu obiektów handlowych i przemysłowych. Materiał, jaki wykorzystywano do wznoszenia tego typu budowli to przede wszystkim: żelbet, stal i drewno. Głównym zadaniem konstruktorów, podczas projektowania obiektów handlowych i przemysłowych jest pokonanie znacznych rozpiętości, niezbędnych ze względów użytkowych. Dodatkowo projektanci muszą podporządkowywać się pewnym trendom stylistycznym narzucanych przez architektów. Krótkie terminy, przewidziane na projektowanie i realizację zadania, również utrudniają pracę projektantów. Jednak w wielu przypadkach, ostatecznym czynnikiem, który decyduje o tym czy dany obiekt powstanie, jest czynnik ekonomiczny.

Uwzględniając powyższe kryteria, okazuje się, że konstruktorzy stają przed trudnym zadaniem projektowym. Bardzo często po przeanalizowaniu wszystkich możliwości podejmują decyzje o zastosowaniu w obiekcie konstrukcji stalowej. Istotny wpływ na taki wybór mają liczne zalety konstrukcji stalowych, takie jak krótki czas budowy, czy niższy koszt realizacji obiektu w porównaniu do obiektów o konstrukcji murowej czy żelbetowej. Ponadto obiekty o konstrukcji stalowej mają bardzo szerokie zastosowanie, mogą być także zlokalizowane na mniej stabilnych podłożach, na których nie ma możliwości wybudowania obiektu w technologii tradycyjnej. Ze względu na swoje zalety konstrukcje stalowe w różnym stopniu pojawiają się w każdym obiekcie. Pełnią one funkcje głównych konstrukcji nośnych lub mniej znaczących konstrukcji pomocniczych, ale zawsze wymagają dokonania wielu szczegółowych obliczeń. Decydując się na zastosowanie konstrukcji stalowej projektanci powinni również bardzo dokładnie przemyśleć sposób połączenia

poszczególnych elementów konstrukcji, a także sposób ich montażu oraz zabezpieczenia przed wpływem wysokiej temperatury.

Konstrukcje stalowe w odróżnieniu od konstrukcji żelbetonowych czy murewowych, charakteryzują się większą precyzją projektową i wykonawczą, co wiąże się z dużą pracochłonnością prac projektowych i wykonawczych. Ponadto ma to również wpływ na zwiększone prawdopodobieństwo wystąpienia błędów zarówno w fazie projektowej, jaki i montażowej. Potwierdzeniem powyższych założeń jest katastrofa, jaka wydarzyła się w Chorzowie podczas trwania wystawy gołębi pocztowych w hali Międzynarodowych Targów Katowickich zimą 2006 roku. Pomimo tak ogromnej tragedii, nadal obserwuje się błędy wykonawcze, które mogą doprowadzić do awarii konstrukcji.

W niniejszym artykule opisano błędy, jakie pojawiają się najczęściej na etapie realizacji konstrukcji stalowych.

2. Opis najczęstszych błędów wykonawczych występujących podczas realizacji konstrukcji stalowych

Błędy, jakie mają miejsce w trakcie realizacji konstrukcji stalowych wywołane są różnymi czynnikami. Ze względu na duże zróżnicowanie konstrukcji stalowych, również powstające nieprawidłowości mają różnoraki charakter.

W odniesieniu do połączeń śrubowych częstym błędem pojawiającym się w fazie realizacji konstrukcji jest brak konsekwencji w doborze śrub w odniesieniu do założeń projektowych. Nieprawidłowość ta może objawiać się zmianą średnicy śruby lub zmianą jej klasy, co odpowiada zmianie nośności połączenia [1]. Taki błąd, nie wykryty poprzez osoby sprawujące kontrolę nad robotami budowlanymi, może mieć bardzo poważne skutki, prowadzące nawet do zawalenia się konstrukcji.

Innym, bardzo istotnym błędem w zakresie połączeń śrubowych jest zamiana śrub sprężających na zwykłe. Doprowadza ona do całkowitej zmiany schematu pracy takiego połączenia - inna praca śrub w połączeniu niesprężonym i sprężonym. W połączeniu sprężonym zakładkowym, po dobraniu śrub o odpowiedniej nośności stan naprężenia powoduje wzajemne tarcie elementów łączonych, dzięki czemu przekazywana jest siła. Zamiana łączników na śruby do połączeń niesprężanych powoduje przenoszenie sił za pośrednictwem trzpieni śrub. Trzpień jest wtedy ścinany w jednej lub dwu płaszczyznach, dodatkowo jest też zginany, co powoduje występowanie sił rozciągających w trzpieniu. Do tego schematu pracy należy dodać jeszcze docisk trzpienia śruby do ścianki otworu, co przekłada się na deformację otworu z jednoczesnym pogrubieniem jego brzegów. W połączeniach doczołowych zamiana śrub do połączeń sprężanych na śruby do połączeń niesprężanych powoduje pominięcie stanu granicznego użytkowania, czyli rozwarcie styku.

W połączeniach śrubowych poważnym błędem jest także nie przestrzeganie zachowania odpowiedniej długości śrub [1, 2] jak pokazano to na Fot. 1. Bardzo często błąd ten występuje w połączeniach doczołowych, przy których korygowano inną nieprawidłowość. Niejednokrotnie w trakcie montażu konstrukcji stalowej okazuje się, że elementy nie przylegają do siebie. W celu zapewnienia styku blach czołowych dokłada się blaszki o odpowiedniej grubości. Jednak nie zawsze korygowana jest też długość śruby, która ze względu na zmianę grubości łączonych blach powinna być również odpowiednio zwiększona.



Fot. 1. Przykład zastosowania śrub o nieodpowiedniej długości.
Photo 1. The example of incorrect bolts length.

Prawidłowe wykonanie rysunków montażowych konstrukcji stalowych ma również bardzo duże znaczenie na etapie ich realizacji. Rysunek wykonawczy elementu, będącego fragmentem konstrukcji, na którym niedokładnie oznaczono jedną spoinę lub błędnie odczytano jej oznaczenie, może doprowadzić do całkowitej zmiany pracy układu konstrukcyjnego.

W odróżnieniu od błędów wywołanych w drodze nieporozumienia projektant – wykonawca, możemy wyróżnić błędy ewidentnie popełniane w wyniku braku dokładności podczas wykonywania prac związanych z montażem konstrukcji. Często nieprawidłowością w tym zakresie jest złe wykonanie samej spoiny, która wykazuje wady takie jak na przykład obecność pęcherzy powietrznych, nadmierny przetop lub jego brak [2]. Nierzadko również obserwuje się skrócenie spoin w stosunku do projektu. Efektem tych niezgodności jest zmniejszona nośność wykonywanych połączeń.

Błędy związane ze złym wykonaniem spoiny, mogą mieć także inne skutki. Na Fot. 2 przedstawiono oparcie płatwi stalowej na dźwigarze stalowym. Nieprawidłowo przygotowana spoina pozioma łącząca pas górny dźwigara z blachą czołową spowodowała przyleganie punktowe płatwi do dźwigara. Skutkiem takiego oparcia jest występowanie na tym styku siły skupionej odbiegającej od założeń projektowych.

Brak dokładności podczas wykonywania połączeń wiąże się również z dokonywaniem poszerzeń lub wręcz dodatkowych otworów podczas samej realizacji konstrukcji. Powinno się tego dokonywać w taki sposób, aby unikać koncentracji naprężeń. Na Fot. 3 przedstawiono błędnie wykonane nacięcia, które prowadzą do koncentracji naprężeń w narożach wykonanego otworu.



Fot. 2. Oparcie płatwi na dźwigarze.
Photo 2. Support of the roof beam on the girder.



Fot. 3. Nieprawidłowo wykonane nacięcie.
Photo 3. The incorrect cut gap.

Popelniony błąd podczas realizacji wcześniejszego etapu, nie skorygowany w odpowiednim momencie przed przestąpieniem do montażu konstrukcji stalowej, powoduje powstawanie kolejnych nieprawidłowości oraz występowanie miejsc, w których naprawa jest utrudniona. Fot. 4 przedstawia zamocowanie stalowego rygla w ścianie żelbetowej. Przesunięcie ściany żelbetowej spowodowało wystąpienie niezamierzonego odstępu od rygla stalowego. Śruba kotwiąca ma do spełnienia dodatkowe zadanie, polegające na przeniesieniu obciążenia, działającego na pewnym mimośrodku w stosunku do ściany, powodującego ścianie i zginanie.



Fot. 4. Zamocowanie stalowego rygla w ścianie żelbetowej.
Photo 4. Joint of steel and reinforced concrete construction.

Częstym błędem występującym na etapie realizacji konstrukcji jest również niewykonanie stężeń przewidzianych w projekcie konstrukcyjnym. Niejednokrotnie zdarza się również, iż wykonane stężenia nie są odpowiednio naciągnięte (Fot. 5) lub zostają zabetonowane podczas robót budowlanych (Fot. 6, Fot. 7), co sprawia, że nie spełniają one swojej funkcji.



Fot. 5. Brak naciągu stężenia.
Photo 5. Bracing without tension.



Fot. 6. Widok zabetonowanego stężenia od strony płatwi.
Photo 6. View of blocked bracing from the roof beam's side.



Fot. 7. Widok zabetonowanego stężenia od strony dźwigara.
Photo 7. View of blocked bracing from the girder's side.

Na kolejnej fotografii (Fot. 8) zaprezentowano błąd wykonawczy, który w przyszłości mógłby być skutkiem zniszczenia połączenia krzyżulca z pasem dolnym płatwi. Niewykonanie spoiny na pełnym obwodzie rury prostokątnej może być również punktem rozwoju korozji.



Fot. 8. Niepełna spoina łącząca krzyżulec z pasem kratownicy.
Photo 8. The incorrect weld between cross brace and a beam's flange.

Częstym błędem spotykanym podczas realizacji konstrukcji stalowych wykonywanych z profili zamkniętych jest zlekceważenie obowiązku zamykania przekrojów rurowych. Obowiązek ten musi być dopełniony w tych konstrukcjach, w których zabezpieczeniem antykorozyjnym jest każda powłoka inna od powłoki cynkowej [2]. Jeżeli zabezpieczenie antykorozyjne stanowią powłoki malarskie, to tylko zewnętrzna część rury może być pomalowana natomiast środek profilu pozostaje niezabezpieczony (Fot. 9 i Fot. 10).



Fot. 9. Niedokończone zabezpieczenie antykorozyjne attyki.
Photo 9. The incorrect attic's anticorrosion protection.



Fot. 10. Brak zamknięcia przekroju rurowego.
Photo 10. Steel pipe without anticorrosion protection.

Każda dodatkowa przeróbka związana wykonywaniem połączeń spawanych, bardzo niekorzystnie wpływa na zastosowane już zabezpieczenia antykorozyjne. Przed przystąpieniem do prac należy mechanicznie usunąć powłoki malarskie w obrębie wykonywanego połączenia. Podczas spawania następują lokalne uszkodzenia powłok. Po wykonaniu takiego połączenia należy powtórnie mechanicznie oczyścić pozostałości i nałożyć powłoki. Jednak bardzo często miejsca poddane przeróbkom nie są później odpowiednio zabezpieczane, co ilustruje Fot. 11.



Fot. 11. Brak zabezpieczenia antykorozyjnego po wykonaniu spoiny montażowej.
Photo 11. Field weld without anticorrosion protection.

3. Wnioski końcowe

Na podstawie zaprezentowanych przypadków można stwierdzić, iż błędy wykonawcze, jakie najczęściej występują podczas realizacji konstrukcji to brak:

- konsekwencji w doborze śrub w odniesieniu do założeń projektowych,
- dostatecznej precyzji podczas wykonywania połączeń spawanych,
- właściwej współpracy konstrukcji stalowej z konstrukcją żelbetową lub murową,
- zachowania odpowiedniego styku,
- stężeń lub ich nieprawidłowy montaż,
- zabezpieczeń antykorozyjnych.

W wyniku przeprowadzonych analiz, na podstawie opisanych przypadków, należy stwierdzić, że błędy, które pojawiają się podczas realizacji obiektów o konstrukcji stalowej, popełniane są w wyniku braku precyzji w trakcie prowadzonych już prac. Można doszukiwać się problemu wynikającego z krótkich terminów realizacji obiektów, ale nie zwalnia to nikogo od odpowiedzialności, jaką będzie musiał ponieść w przypadku awarii takiej konstrukcji. Wiele z przedstawionych tu przypadków można byłoby rozwiązać w sposób zgodny z zasadami opierającymi się na warunkach normowych [2, 3], gdyby wykonawcy odpowiednio wcześniej zgłosili swoje problemy projektantowi.

Przytoczone przykłady ukazują również jak ważna jest kontrola prowadzonych prac, na każdym etapie procesu budowlanego - począwszy od wykonywania projektu, aż do momentu zawiadomienia odpowiednich organów państwowych o zakończeniu budowy obiektu budowlanego i zamiarze przystąpienia do jego użytkowania, a osoby, które tą kontrolę sprawują stają przed bardzo odpowiedzialnym zadaniem. Zarówno kierownik robót budowlanych, jak i inspektor nadzoru, powoływany z ramienia inwestora, powinni być odpowiednio przygotowani do pełnienia swoich funkcji oraz świadomi odpowiedzialności, jaka na nich ciąży. Tym bardziej powinni wykonywać swoje obowiązki sumiennie, gdyż od ich rzetelności zależy bezpieczeństwo osób użytkujących obiekt budowlany. Ze względu na częste błędy, spowodowane nieporozumieniami na linii projektant-wykonawca, należałoby również rozważyć włączenie projektanta konstrukcji stalowej do procesu realizacji obiektu poprzez wprowadzenie obowiązku sprawowania nadzoru autorskiego. Obecnie, zgodnie z obowiązującą ustawą - Prawo budowlane [4], inwestor może zobowiązać projektanta do pełnienia nadzoru autorskiego, jednak nie jest to obligatoryjne. Wprowadzenie obowiązku sprawowania nadzoru autorskiego, szczególnie w odniesieniu do konstrukcji o znacznych rozpiętościach lub skomplikowanych rozwiązaniach konstrukcyjnych, mogłoby przyczynić się do zmniejszenia ilości błędów powstających podczas realizacji obiektu budowlanego. Rozważając tematykę bezpieczeństwa użytkowników obiektu budowlanego należy również podkreślić znaczenie kontroli zabezpieczeń przed wpływem wysokiej temperatury, przeprowadzanej przez Państwową Straż Pożarną, która przez wielu wykonawców traktowana jest bardzo często jako zbyteczny i uciążliwy obowiązek.

Literatura

- [1] PN-B-03200, *Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie*, 1990.
- [2] PN-B-06200, *Konstrukcje stalowe budowlane. Warunki wykonania i odbioru. Wymagania podstawowe*, 2002.
- [3] PN-B-06200/Ap1, *Konstrukcje stalowe budowlane. Warunki wykonania i odbioru. Wymagania podstawowe*, 2005.
- [4] *Ustawa z dnia 7 lipca 1994r. Prawo budowlane*, (Dz. U. z 2006r. Nr 156, poz. 1118 z późniejszymi zmianami).

Assembly mistakes of steel structures

Małgorzata Litwin, Marcin Górecki

*Lublin University of Technology, Faculty of Civil and Sanitary Engineering,
e-mail: litwin.malgorzata@gmail.com, mrc.gorecki@gmail.com*

Abstract: Steel structures have plenty of advantages, which decide on their usage in many buildings. At the same time require they great precision in the design stage as well as during the building phase. Indispensable precision is oft a reason for design and assembly mistakes. In the paper there are presented the assembly mistakes, which occur the most often during the realisation stage.

Key words: steel structures, assembly mistakes.