

BALKONY I LOGGIE

Wymiarowanie konstrukcji stalowych przed przystąpieniem do remontów i napraw

dr inż. Jan Gierczak
dr inż. Rajmund Leszek Ignatowicz
dr inż. Marek Sawicki
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Politechniki Wrocławskiej

We wcześniejszych artykułach przedstawiono problematykę remontów i modernizacji balkonów uwzględniającą korozję i zmianę właściwości materiału w wyniku wieloletniej eksploatacji. W tym artykule zajmiemy się filozofią wymiarowania konstrukcji stalowych istniejących ponad kilkadziesiąt lat, opartą na polskich normach obowiązujących i wycofanych.

Zasadniczo wymiarowanie konstrukcji stalowych nie zmieniło się na przestrzeni lat. Zmieniło się natomiast podejście do szacowania bezpieczeństwa konstrukcji i jej niezawodności. Zmienił się zapis warunków wytrzymałościowych, a mianowicie zaprzestano posługiwania się naprężeniami dopuszczalnymi, a zaczęto stosować nośności przekroju i elementu.

Filozofia wymiarowania konstrukcji

Do lat 70. XX wieku obowiązywał w kraju system wymiarowania konstrukcji stalowej według teorii naprężeń dopuszczalnych. Naprężenie dopuszczalne σ_{dop} były ustalane na podstawie minimalnej gwarantowanej granicy plastyczności R_e podzielonej przez współczynnik uwzględniający równocześnie materiał i obciążenie. W późniejszym okresie normy były konstruowane według stanów granicznych – całkowicie zmieniono wówczas filozofię wymiarowania konstrukcji. Uwzględniano dwa współczynniki: materiałowy – związany z procesem wytwarzania kształtownika; oraz współczynnik obciążenia – związany z szacowaniem obciążeń.

Zasady

Określenie stanu granicznego nośności konstrukcji odbywa się poprzez sprawdzenie nośności poszczególnych przekrojów oraz elementów. Sprawdza się, czy we wszystkich przekrojach wartość maksymalnych sił wewnętrznych nie przekracza nośności przekroju od kombinacji obciążeń obliczeniowych. Dla ele-

mentów konstrukcyjnych i dla ich układów konstrukcyjnych należy sprawdzić ogólną utratę stateczności przy zadanych imperfekcjach konstrukcji. W analizie konstrukcji należy uwzględnić imperfekcje globalne układów ramowych i stężeń oraz imperfekcje pojedynczych elementów. Przyjmowany w obliczeniach kształt globalnych i lokalnych imperfekcji można określić na podstawie postaci wybočenja sprężystego układu w rozpatrywanej płaszczyźnie. Ustalając kształt imperfekcji, należy uwzględnić wszelkie możliwe postacie i kierunki wybočenja w płaszczyźnie, z płaszczyzny układu, symetryczne i niesymetryczne. W normie PN-EN 1993-1-1:2005-AC:2006 podano wartości obliczeniowe wstępnych imperfekcji łukowych e_0/L w zależności dla krzywych wybočenja.

Dla poszczególnych elementów możemy dobrać odpowiednią krzywą w zależności od pomierzonych odchyłek. Przy projektowaniu nowych konstrukcji, korzystając z odpowiednich krzywych przy obliczaniu nośności elementów, należy w późniejszym okresie wykonać je zgodnie z normą PN-EN 1090-2. Przy szacowaniu nośności elementów należy krzywe wybočenja dobrać zgodnie z ich rzeczywistymi odchyłkami, jednak nie mniejszymi, niż wynika to z przyporządkowania krzywych wybočenja dla rodzaju i typu przekroju zgodnie z PN-EN 1993-1-1. Przy większych niż dopuszczalne imperfekcje wybiegające z zakresem dla krzywej d należy przeprowadzić osobne analizy.

Przekroczenie nośności przekrojowej elementu może nie powodować zniszczenia kon-

strukcji (dotyczy to gatunku stali, które mają wyraźną granicę plastyczności $A_5 > 15\%$). Aby nastąpiło zniszczenie konstrukcji, konstrukcja musi przekształcić się częściowo lub jako całość w łańcuch kinematyczny (dotyczy to schematów statycznie niewyznaczalnych).

Dodatkowo w konstrukcji powinny być sprawdzone połączenia pomiędzy elementami. W starszych konstrukcjach przeważnie kierowano się zasadą, że wszelkie połączenia są wykonane z uwagi na nośność łączonych elementów. Obecnie w nowo projektowanych obiektach można spotkać się z zasadą, że połączenie wymiaruje się na występujące ekstremalne siły wewnętrzne. Zasada ta zwiększa ryzyko powstawania awarii i powinna być formalnie zabroniona.

Teoria plastyczności w ocenie nośności

Innym zagadnieniem w ocenie nośności konstrukcji jest wykorzystanie teorii plastyczności. Wykorzystanie rezerwy plastycznej konstrukcji jest pomocne zarówno przy projekto-

W nowo projektowanych obiektach często połączenie wymiaruje się na występujące ekstremalne siły wewnętrzne. Zasada ta zwiększa ryzyko powstawania awarii i powinna być formalnie zabroniona

waniu, jak i przy ocenie nośności istniejących obiektów. W szczególności w ocenie nośności balkonów o schematach statycznie niewyznaczalnych przy wykonywaniu ekspertyz uwzględnienie rezerwy plastycznej konstrukcji daje niekiedy potrzebny zapas nośności pozwalający dalej eksploatować obiekt bez kosztownych wzmocnień czy wręcz wymiany elementów na nowe.

W konstrukcjach balkonów dominują schematy statycznie wyznaczalne i wykorzystywanie współczynnika rezerwy plastycznej dla przekroju i ustroju jest niedozwolone.

Obecnie konstrukcje stalowe możemy wymiarować według trzech metod:

- metody sprężysto-sprężystej,
- metody sprężysto-plastycznej,
- metody plastyczno-plastycznej.

W metodzie sprężysto-sprężystej siły wewnętrzne oraz nośność przekroju wyznacza się zgodnie z teorią sprężystości w zakresie sprężystym. W metodzie sprężysto-plastycznej siły wewnętrzne wyznacza się w zakresie spręży-

stym, natomiast nośności przekroju wyznacza się z wykorzystaniem rezerwy plastycznej, dopuszczając uplastycznienie przekroju. W metodzie plastyczno-plastycznej zarówno siły wewnętrzne, jak i nośności poszczególnych przekrojów wyznacza się, stosując teorię plastyczności. Wymiarowanie konstrukcji według teorii plastyczności dopuszczają normy PN-EN i PN. Normy te dopuszczają projektowanie metodą plastyczno-plastyczną, gdy konstrukcja, obciążenie itp. spełniają określone warunki. Idea projektowania konstrukcji w zakresie plastycznym w poszczególnych normach jest identyczna, a różnice w wymiarowaniu wynikają z innego podejścia szacowania bezpieczeństwa konstrukcji. Norma PN-90/B-03200 w załączniku 4 dopuszcza projektowanie konstrukcji wg teorii plastyczności, gdy spełnione są następujące warunki niezbędne do plastycznej redystrybucji sił wewnętrznych:

- stal, z jakiej zaprojektowana jest konstrukcja, charakteryzuje się wydłużalnością $A_5 \geq 15\%$ i stopniem wzmocnienia $R_m/R_e \geq 1,2$ (obecnie f_u/f_y),
- każdy element, w którym mogą powstać przeguby plastyczne jest homogeniczny, pełnościenny i ma stały co najmniej monosymetryczny przekrój klasy 1,

- obciążenie przechodzi przez środek ciężkości i środek ścinania, nie powodując skręcania,
- elementy zginane względem osi największej bezwładności przekroju są zabezpieczone przed zwichrzeniem oraz w miejscach potencjalnych przegubów plastycznych elementy są zabezpieczone przed przemieszczaniem z płaszczyzny układu,
- w miejscu działania obciążeń skupionych, w których mogą powstać przeguby plastyczne, elementy są usztywnione żebrami poprzecznymi,
- połączenia zginane (węzły sztywne) w miejscach lub bezpośrednim sąsiedztwie przegubów plastycznych mają nośność nie mniejszą niż nośność przekroju elementów łączonych powiększona o 20%.

Pierwszy warunek jest spełniony dla typowych stali używanych w budownictwie, tj. dla stali S235, S355 (dawnych oznaczeń St3S, I8G2) czy też niemieckiej stali St52-3. Warunek drugi i trzeci spełnione są dla większości elementów dwuteowych gorącowalcowanych (np. HEB, HEA). Należy tutaj nadmienić, że spoiny powinny być rozmieszczone symetrycznie. Nie powinno się stosować spoin jednostronnych łączących środnik z pasem. Czwarty warunek powinien być uzupełniony o następujące zdanie: Każdy element i grupa elementów powinny być zabezpieczone przed globalną utratą stateczności. Ten warunek jest oczywisty, gdyż konstrukcja niezabezpieczona przed utratą stateczności globalnej ulegnie zniszczeniu przed powstaniem przegubów plastycznych. Warunek ostatni wymaga komentarza. Połączenia sztywne w konstrukcjach są przeważnie ze śrub sprężających o znacznej wytrzymałości na rozciąganie. Śruby te wykonane są ze stali, które nie spełniają warunku 1, tzn. nie mają wyraźnej granicy plastyczności ($A_5 \leq 15\%$). Panujący w połączeniu moment plastyczny nie gwarantuje powstanie przegubu plastycznego z powodu braku swobody obrotu węzła. Z tego też powodu PN-EN proponuje przyjmować nośność połączenia o 20% większą od momentu plastycznego, jaki może przenieść uplastyczniony przekrój łączonych elementów. Wtedy to przegub plastyczny powstaje na elemencie nieskończenie blisko połączenia. Dla elementów spawanych warunek podany w normie jest wystarczający pod warunkiem przeniesienia momentu plastycznego przez spoiny. Przy obciążeniu granicznym powstają trwałe odkształcenia w konstrukcji, dlatego też konstrukcja powinna być obciążona statycznie.

Teorii plastyczności nie powinno się stosować dla stali zgrzewnych i zlewnych, gdyż nie mają one wyraźnej granicy plastyczności, tylko umowną. Spowodowane to jest przede wszystkim starzeniem się materiału.

W konstrukcjach balkonów dominują schematy statycznie wyznaczalne i wykorzystywanie współczynnika rezerwy plastycznej dla przekroju i ustroju jest niedozwolone. ■

