

Wrażliwość dźwigarów kratowych na imperfekcje

Projektując np. hale przemysłowe przyjmuje się, że wszystkie dźwigary dachowe pracują w jednakowych warunkach, a więc ich układy statyczne są identyczne. Na tej podstawie wymiaruje się elementy konstrukcyjne, nie dostrzegając różnic wynikających z istnienia imperfekcji (odchyżeń od założeń projektowych i wykonawczych), zarówno w samym materiale, jak i w układach statycznych oraz geometrii. Projektanci intuicyjnie wyczuwając, że te czynniki mają znaczenie, przeciwdziałają ich ujemnym skutkom, np. przez obniżenie stopnia wykorzystania naprężeń w prętach dźwigarów stalowych w granicach 70% [1]. Dawniej takie postępowanie uzasadnione było tym, że ze względu na pracochłonność obliczeń rozpatrywano jeden układ statyczny, przy czym dokładność była stosunkowo niska. Obecnie, dzięki komputeryzacji, istnieje możliwość szybkiego przeprowadzenia analiz, także z uwzględnieniem wpływu niektórych imperfekcji.

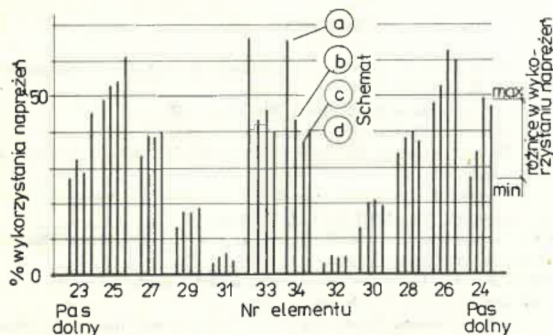
W celu rozpoznania poruszonego problemu, podjęto próbę oszacowania znaczenia niektórych imperfekcji stwierdzonych w zrealizowanych halach i ujęcia wyników w postaci „oceny wrażliwości konstrukcji na imperfekcje”.

Modele konstrukcji — układy statyczne

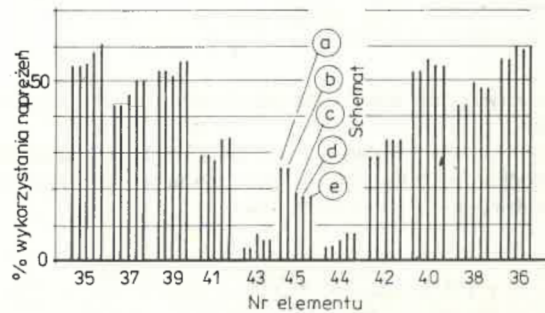
Projektując dźwigary kratowe rozpatruje się zazwyczaj jeden układ statyczny, wyznacza siły wewnętrzne, a następnie wymiaruje pręty. Jest to postępowanie tradycyjne.

W XIX wieku konstruowano dźwigary kratowe z węzłami przegubowymi, aby następnie przejść do stosowania połączeń nitowych z blachami węzłowymi. Na początku XX wieku rozwijały się konstrukcje spawane z blachami węzłowymi [2]. W ostatnich latach zaczęto stosować, szczególnie w konstrukcjach z kształtowników giętych na zimno, połączenia bez blach węzłowych [3].

Mimo tych przemian w zasadach konstruowania, dźwigary oblicza się w dalszym ciągu jako ustroje z węzłami przegubowymi, co jest szczególnie niekorzystne w konstrukcjach lekkich. Nie analizuje się przy tym wpływu różnych imperfekcji, jakie mogą wystąpić w obiektach rzeczywistych. Ten problem uwidacznia się szczególnie ostro, gdy mamy



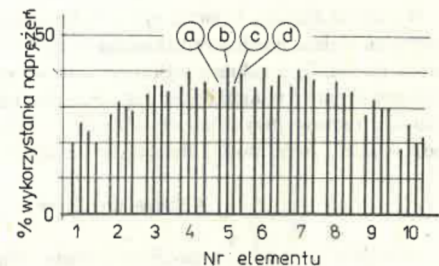
Rys. 1. Wykorzystanie naprężeń w krzyżulcach w zależności od przyjętego modelu obliczeniowego



Rys. 2. Wykorzystanie naprężeń w słupkach w zależności od przyjętego modelu obliczeniowego

do czynienia z typowymi dźwigarami, stosowanymi w różnych obiektach (różnice w wykonawstwie, warunkach pracy, jakości montażu itp.).

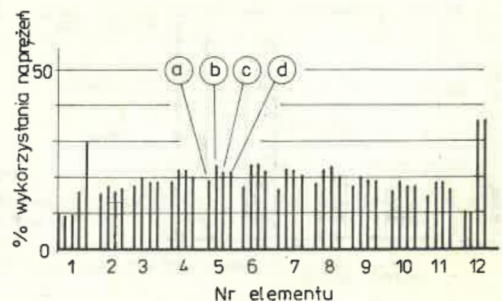
W celu oszacowania różnic, jakie w praktyce mogą występować, przeanalizowano wiele obiektów, a rezultaty badań jednego z nich omówiono niżej. W przykładzie rozpatrywano tylko imperfekcje wynikające ze zróżnicowania w sposobach zamocowania na podporach dźwigarów i słupów. Nie rozpatrywano wpływu wad materiałowych, różnic wynikających z mimośrodowego przenikania się prętów w węz-



Rys. 3. Wykorzystanie naprężeń w pasie dolnym w zależności od przyjętego modelu obliczeniowego

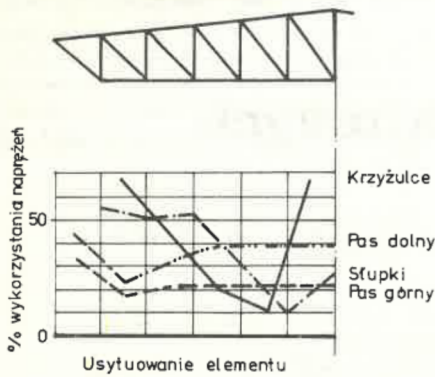
łach, wpływu tolerancji, wychyleń dźwigarów z płaszczyzny obciążenia itp. Rozpatrzono układy:

a — kratownica z węzłami przegubowymi oparta przegubowo prze-



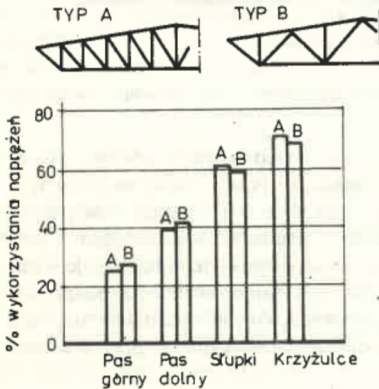
Rys. 4. Wykorzystanie naprężeń w pasach górnych w zależności od przyjętego modelu obliczeniowego

sownie na podporach (układ przyjęty w projekcie),
 b — dźwigar jako rama, podparta przegubowo przesuwnie,
 c — rama z ryglem kratowym utwierdzonym w słupach 4 śrubami;
 słupy mają zróżnicowaną wysokość, ponieważ niektóre z nich utwierdzone w sąsiednim budynku,



Rys. 5. Wykorzystanie naprężeń w elementach kratownicy przy przyjęciu najniekorzystniejszego modelu obliczeniowego

d — identyczny układ jak c, lecz słupy podporowe mają jednakową wysokość,
 e — w obliczeniach według d uwzględniono dodatkowe obciążenia węzłów podporowych momentami spowodowanymi mimośrodowym oparciem dźwigara na głowicach słupów.

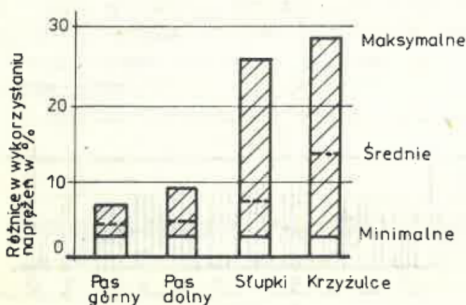


Rys. 6. Wykorzystanie naprężeń w różnych typach kratownic o różnych rozpiętościach

Wyniki analiz zestawiono na rys. 1–4. Dane dotyczące wykorzystania naprężeń w elementach przedstawiono na rys. 5 i 6, różnice w wykorzystaniu na rys. 7, a zakresy wykorzystania na rys. 8. Różnice między maksymalnymi i minimalnymi naprężeniami, jakie występują w przekrojach prętów przy różnych układach statycznych (por. rys. 8), odpowiadają „wrażliwości elementów konstrukcji na imperfekcje”.

Analiza wyników

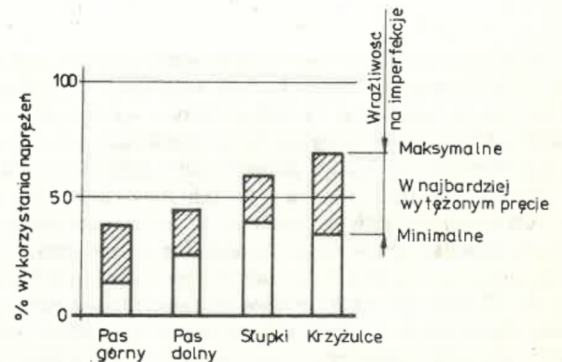
Dźwigary zaprojektowane jako układy identycznych elementów pracują w tym samym obiekcie w różnych warunkach. Z tego powodu występują nieraz znaczne różnice w naprężeniach (por. rys. 8).



Rys. 7. Różnice w wykorzystaniu naprężeń w elementach kratownicy przy różnych modelach obliczeniowych

Ocena wrażliwości konstrukcji na imperfekcje pozwala na ujawnienie najbardziej na nie czułych elementów, a tym samym na ich zaprojektowanie w taki sposób, aby były one zdolne do spełnienia swego zadania w najniekorzystniejszych warunkach. Projektant może wówczas zmniejszać „intuicyjne” zapasy, co ma znaczenie ekonomiczne (podwyższenie zaufania do wyników obliczeń owocuje w postaci pełniejszego wykorzystania naprężeń, a tym samym obniżenia masy konstrukcji).

Mimo że w artykule ograniczono się do wybranych zagadnień, warto zasygnalizować potrzebę zwrócenia także uwagi na powstawanie uszkodzeń konstrukcji w trakcie transportu, składowania i montażu oraz uwzględniania takich zdarzeń w projektowaniu. Wiadomo, że w miarę zwiększania wymiarów elementów oraz wykorzystania naprężeń prawdopodobieństwo wystąpienia tego rodzaju imperfekcji wzrasta (funkcja paraboliczna [1]).



Rys. 8. Wrażliwość elementów kratownicy na imperfekcje

Uwagi końcowe

Rozwój komputeryzacji umożliwia wielowariantowe analizowanie różnych układów konstrukcyjnych z uwzględnieniem imperfekcji. Ta możliwość powinna być wykorzystywana szczególnie w projektowaniu elementów typowych, a także cienkościennych kształtowników giętych na zimno.

Powinno się dążyć do analizowania „wrażliwości konstrukcji na imperfekcje”. Takie postępowanie prowadzi do lepszego poznania zachowania się konstrukcji, pełniejszego wykorzystania w nich naprężeń oraz do zwiększania niezawodności. Ponieważ brak jest pełnych informacji dotyczących rodzajów i wielkości występujących imperfekcji, wskazane jest podjęcie systematycznych badań w tym zakresie. Wyniki powinny posłużyć jako podstawa do projektowania i analiz oraz jako „wsad” do oprogramowania inżynierskiego, umożliwiającego wielowariantowe i szybkie obliczanie konstrukcji prętowych z uwzględnieniem np. uplastycznienia materiału, przeprowadzania analiz geometrycznie nieliniowych oraz oceny niezawodności tych konstrukcji [4 ÷ 9].

PIŚMIENNICTWO

- [1] Nawrot T.: Badania imperfekcji geometrycznych i materiałowych w dźwigarach stalowych. Konferencja ITB, Warszawa 1988.
- [2] Niemirko A.: Rzecz o kratownicach. WKiŁ, Warszawa 1987.
- [3] Bródka J., Łubiński M.: Lekkie konstrukcje stalowe. Arkady, Warszawa 1978.
- [4] Nowak A., Zhou J.H.: Reliability Models for Bridge Analysis. Report No. 85-3. University of Michigan, March 1985.
- [5] Kotula M., Keliber W.: Stateczność i wrażliwość na imperfekcje pewnej przestrzennej konstrukcji prętowej. Prace IPPT-PAN 29, Warszawa 1983.
- [6] Chan S.L., Kitipornchai S.: Geometric Nonlinear Analysis of Asymmetric Thin-Walled Beam-Columns. Eng. Structural, 1987.
- [7] Packer J.A., Davies G.: On the use and calibration of design standards for SHS joints. The structural Engineering, Vol. 21/7, November 1989.
- [8] Kitipornchai S., Al-Bermani F.G.A., Chan S.L.: Geometric and Material Nonlinear of Structures Comprising Hollow Sections. Eng. Structural, Vol. 10, January 1988.
- [9] Olivieto G., Cuomo M.: Incremental Analysis of Plane Frames with Geometric and Material Nonlinearities. Eng. Structural, Vol. 10, January 1988.