

Nietypowe połączenie żelbetowe belka–słup

Żelbetowej belki prefabrykowaną nie oparto na słupie lub wsporniku, ale czołowo połączono z monolitycznym węzłem. Takie połączenie nie może być uznane za poprawne konstrukcyjnie ze względu na przenoszenie sił ścinających.

W nowo budowanym budynku o konstrukcji żelbetowej zastosowano nietypowe połączenia belka–słup. Schemat takiego połączenia pokazano na rys. 1.

Element konstrukcyjny składa się z prefabrykowanej belki, prefabrykowanego słupa, monolitycznego węzła i monolitycznego stropu. Strop stanowi jednocześnie nadbeton dla belki prefabrykowanej. Charakterystyczną cechą tego rozwiązania jest to, że prefabrykowana belka nie opiera się na prefabrykowanym słupie. Słupy mają wymiary 40 x 60 cm, belki prefabrykowane 40 x 57 cm oraz nadbeton 18 cm. Górne zbrojenie belek (w nadbetonie) stanowią 4Ø16 + 2Ø20. Pręty te są przewleczone przez oczka strzemion wystających z prefabrykowanej belki, a z drugiej strony są zagięte i wchodzą w monolityczny węzeł. Zbrojenie płyty stropowej jest krzyżowe z prętów od Ø8 do Ø12 rozstawionych co około 20 cm. Beton zaprojektowano jako C25/30. Węzeł belka–słup, nadbeton belki oraz płyta stropowa wykonywane (betonowane) były jednocześnie, aby ustanowić ciągłą, jednolitą strukturę. Według założeń projektu oparcie prefabrykowanej belki na słupie powinno wynosić 2 cm.

Wątpliwości co do możliwości poprawnego przenoszenia sił poprzecznych w zaprojektowanym połączeniu belka–słup, a także uchybienia wykonawcze (np. brak 2-cm oparcia, brak groszkowania czołowej powierzchni belki prefabrykowanej, nieprawidłowe usytuowanie strzemion) spowodowały dyskusję, a następnie opracowanie wielu ekspertyz i opinii dotyczących nośności tego nietypowego

połączenia belka–słup. Wnioski w tych opracowaniach były skrajnie różne, a stosowane uzasadnienia poprawności rozwiązania bywały wielce oryginalne, chociaż mało przekonujące. O opisywanym połączeniu również w Instytucie Techniki Budowlanej przeprowadzono liczne rozmowy i konsultacje, a także opracowano ekspertyzę (NK-02123/P/2009), która jest podstawą niniejszego artykułu.

W trakcie badań wizualnych, których dokonano kilka miesięcy po wykonaniu połączeń, ale jeszcze w stanie surowym budynku, nie stwierdzono uszkodzeń lub innych oznak wskazujących na nieprawidłową pracę w połączeniach belka–słup. Nie zauważono zarysowań na stropie (podłodze) w pobliżu słupów. W pachwinach połączenia belka–słup również nie było uszkodzeń.

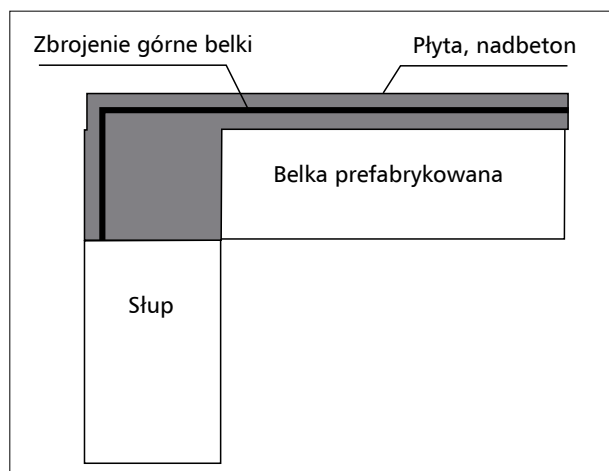
Analiza połączenia belka–słup

W obliczeniach projektowych nie przedstawiono sprawdzenia normowych wymagań stanu granicznego nośności na ścinanie bezpośrednio w połączeniu belka–słup. Zamiast normowej metody sprawdzania nośności na ścinanie przedstawiono obliczenia nośności prętów podłużnych na ścinanie i nośności na docisk betonu do prętów zbrojenia.

Projektanci sprawdzili docisk prętów do betonu, stosując równomierny rozkład naprężenia na długości 4Ø pręta zbrojeniowego. Rozważając na gruncie teorii sprężystości zagadnienie zabetonowanego pręta stalowego poddanego sile prostopadłej do jego osi, otrzymuje się na końcu betonu naprężenia zbiegające do nieskończoności. W efekcie uplastycznienia (zniszczenia struktury) betonu w tym miejscu następuje spadek naprężeń do zera, maksymalne naprężenia przemieszczają się do wewnątrz betonu i mają kształt zanikającej sinusoidy.

Określając normową nośność na ścinanie, nie można traktować styku prefabrykowanego czoła belki i betonu węzła jak konstrukcji monolitycznej i trzeba się ograniczyć do strefy nadbetonu belki. Dla takiego założenia oszacowano, że normowa (PN-B-03264:2002) nośność na ścinanie $V_{Rd1} = 80$ kN. Na podstawie projektowych obliczeń statycznych oszacowano, że w połączeniu belka–słup może wystąpić siła ścinająca wynosząca 250 kN, czyli trzy razy większa niż nośność.

Charakterystyczną cechą zaprojektowanego i wykonanego połączenia belka–słup jest to, że w pobliżu słupa monolityczny strop nie opiera się na prefabrykowanej belce, ale prefabrykowana belka jest



Schemat połączenia belka–słup



Przykład uszkodzenia na skutek ścinania

podwieszona do płyty stropowej. Mimo że obciążenia i rozpiętości nie są zbyt duże, to w żelbetowym układzie konstrukcyjnym znajduje się bardzo dużo zbrojenia. W nadbetonie belki znajduje się zbrojenie, które może przenieść siłę rozciągającą około 600 kN ($0,00014 \cdot 420 = 0,588\text{MN}$), a więc ponaddwukrotnie więcej, niż wynosi siła w połączeniu belka–słup (około 250 kN). Dodatkowo zastosowane jest krzyżowe zbrojenie samej płyty stropowej. Trzeba zwrócić także uwagę, że płyty stropowe oparte są również na żelbetowych ścianach.

Normy nie są obowiązkowe, ale ich stosowanie jest bardzo wygodne dla wykazania, że spełnione jest ustawowe, obowiązujące wymagania bezpieczeństwa konstrukcji. Normy stanowią wynik konsensusu i doświadczeń, a spełnienie ich wymagań uważa się powszechnie za równoważne spełnieniu wymagań podstawowych.

Normy żelbetowe podają wymagania w zakresie sił ścinających, jakie powinny być spełnione dla konstrukcji. W obliczeniach projektowych, tak jak w innych opracowaniach, nie pokazano, że dla węzła belka–słup spełnione są normowe wymagania dla ścinania, bo takie wymagania spełnione nie są. Zamiast tego analizowane i obliczane były inne siły i zależności, które miały wykazać, że połączenie zapewnia przenoszenie sił wewnętrznych. Merytoryczna zasadność i wiarygodność przedstawionych dowodów jest jednak wielce problematyczna.

W części opracowanych ekspertyz i opinii dotyczących przedmiotowego połączenia stwierdzono, że w zakresie nośności połączenie belka–słup spełnia wymagania, a w innych opracowaniach autorzy doszli do wniosku, iż w połączeniach nie są spełnione wymagania stanu granicznego nośności.

Ocena połączenia belka–słup

Zastosowane rozwiązanie połączenia belka–słup nie spełnia normowego wymagania w zakresie ścinania. Rozwiązanie takie nie może być uznane za prawidłowe pod względem konstrukcyjnym. Połączenia belka–słup bardzo często występują w budownictwie i są dobrze rozpoznane od strony teoretycznej i praktycznej. Omawiane połączenie zostało niepotrzebnie skomplikowane. Zaproponowany układ nie ma czytelnej i jasnej zasady pracy. Wymaga dodatkowych trudnych zabiegów np.: groszkowania powierzchni, spawania prętów, przetykania prętów.

Mając na uwadze bardzo dużą ilość zbrojenia zastosowaną w połączeniu, przede wszystkim zbrojenie w nadbetonie belki prefabrykowanej ($4\varnothing 16+2\varnothing 20$), zbrojenie płyt stropowych oraz oparcie płyt stropowych na ścianach, ocenia się, że w połączeniu nie powinno nastąpić przekroczenie nośności. W ocenie tej uwzględnia się fakt, iż zbrojenie jest dobrze zakotwione i przewleczone przez oczka strzemion belki prefabrykowanej oraz że cały węzeł z nadbetonem belki i płytą stropową jest prawidłowo zabetonowany.

Trzeba także zwrócić uwagę, że w przypadku przekroczenia nośności na ścinanie w połączeniu belka–słup nie ma groźby poważnych konsekwencji, np. katastrofy postępującej. Przekroczenie nośności na ścinanie może spowodować niewielkie przemieszczenie w dół belki prefabrykowanej. Takie przemieszczenie musi spowodować ścięcie krawędzi słupa, czyli od dołu połączenie belka–słup będzie wyglądało podobnie jak na fotografii obok.

Ukośna płaszczyzna po ściętej krawędzi słupa spowoduje efekt taki jak między elementami sklepienia. Powstanie dodatkowa siła pionowa podtrzymująca belkę, a w zbrojeniu górnym belki powstanie dodatkowa siła rozciągająca, która uniemożliwi poziome przemieszczenie się belki.

Oceniono, że zrealizowane połączenia belka–słup nie wymagają wykonywania dodatkowych wzmocnień. Wykonanie efektywnego w praktyce wzmocnienia byłoby trudne, ponieważ wymagałoby uzyskania w dodatkowym wzmocnieniu naprężeń, np. przez wypieranie belek i stropów.

Wnioski i zalecenia

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz, uwzględniając wymagania norm i odpowiednich przepisów, sformułowano następujące wnioski dotyczące połączenia belka–słup.

Zastosowane rozwiązania połączeń belka–słup pod względem konstrukcyjnym nie są prawidłowe. Dla połączenia tego nie są spełnione normowe zalecenia w zakresie ścinania.

Wykonane dotychczas połączenia nie wykazują oznak destrukcji. Oceniono, że połączenia te nie muszą być wzmacniane.

Wszystkie połączenia belka–słup powinny być widoczne – nie należy ich zabudowywać, zasłaniać itp. W trakcie wzrostu obciążeń, a następnie w czasie eksploatacji budynku – np. co kwartał – zalecono kontrolę połączeń. W przypadku wystąpienia w obszarze połączeń belek i słupów oznak przemieszczeń, uszkodzeń, destrukcji czy innych nietypowych zmian powinna być dokonana ocena przez rzeczoznawcę budowlanego. W okresie dwóch lat powinna być dokonana ponowna ocena połączeń przez rzeczoznawców.

mgr inż. **Jerzy Kowalewski**
Instytut Techniki Budowlanej



www.inzynierbudownictwa.pl/forum10