

dr inż. Szymon Wojciechowski^{1*)}
 mgr inż. Wawrzyniec Andrzejewski¹⁾
 mgr inż. Łukasz Józefczyk²⁾
 ORCID: 0009-0008-6105-8560

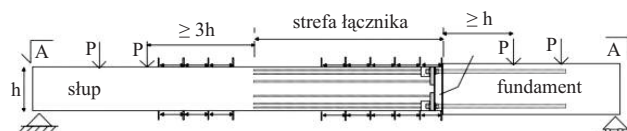
Sztywność giętą połączeń prefabrykowanych słup – fundament montowanych na wytyki

W przypadku prefabrykowanych obiektów szkieletowych, słupy zazwyczaj łączone są ze stopami (prefabrykowanymi lub monolitycznymi) w sposób sztywny. Takie połączenia wykonywane są za pomocą: systemowych łączników skręcanych; wystających z fundamentów, zalewanych w słupach prętów zbrojeniowych (tzw. wytyków) oraz stóp kielichowych [1].

W [1] omówiono wpływ sił wymiarujących na ilość zbrojenia koniecznego do wykonania skutecznego węzła przy zastosowaniu rur robusta umieszczonych w słupie. Założono, że pomiędzy słupem a fundamentem nie dochodzi do utraty sztywności giętnej, a sam węzeł potraktowano jako sztywny. W artykule przedstawiono rozważania dotyczące sztywności zamocowania prefabrykowanych słupów w fundamencie. Omówiono metodę badawczą pozwalającą określić efektywną sztywność zamocowania słupa w fundamencie oraz przedstawiono przykładowe wyniki z pełnoskalowych badań wykonanych na stanowisku badawczym Pekabex.

Sztywność giętą połączeń słupowych z fundamentem

Metoda badań sztywności giętnej połączeń słupowych z fundamentem została opisana w raporcie technicznym TR 067 wydanym przez EOTA (*European Organization for Technical Assessment*) w 2018 r. [2]. W dokumencie można znaleźć szczegóły dotyczące sposobu wykonania próbki badawczej, przebiegu badania i postępowania w przypadku interpretacji wyników. Próbka badawcza składa się z dwóch głównych części: słupa oraz fundamentu (rysunek 1). Słup, o kwadratowym przekroju poprzecznym, z umieszczonymi wewnątrz elementu badanymi łącznikami, jest zamocowany w fundamencie. Łączniki zakotwiono w fundamencie na pełną nośność, a jego przekrój poprzeczny jest większy niż przekrój słupa. Po zalaniu połączenia pomiędzy słupem i fundamentem, niskoskurczową, ekspansywną zaprawą o dużej wytrzymałości, próbka przyjmuje postać belki poziomej, która następnie poddawana jest obciążeniu w schemacie czteropunktowego zginania. Liczba przyłożonych sił punktowych jest dowolna. Celem obciążenia zewnętrznego jest względnie stały moment zginający, w środkowej części badanego elementu, w miejscu połączenia między słupem i fundamentem. Badanie polega na 3 – 5 cyklach obciążenia o 40 – 60% nominalnej nośności na zginanie elementu. Każdorazowo, po osią-



Rys. 1. Próbka badawcza – badanie sztywności połączenia słupa z fundamentem [2]

gnięciu wymaganego progu obciążenia, element jest odciażany. W ostatnim cyklu element jest obciążany aż do jego zniszczenia. W trakcie prób obciążania i odciażania prowadzono pomiar skrócenia górnych włókien i wydłużenia dolnych włókien próbki. Znając zapis z każdego czujnika przemieszczeń: na górnych włóknach, oznaczony symbolem v_i a na dolnych włóknach – u_i , przy znanej odległości między czujnikami H oraz znanej bazie pomiarowej (tej samej, w przypadku górnych i dolnych włókien) oznaczonej L_i , korzystając z równania (1) można wyznaczyć krzywiznę strefy Z_i oznaczoną symbolem:

$$\kappa_i = (u_i - v_i) / (H \cdot L_i) \quad (1)$$

Dysponując, w każdej strefie Z_i , wartością momentu zginającego M_i przy przyroście sił zewnętrznych, można określić sztywność giętą przekroju EI_i z równania (2):

$$EI_i = M_i / \kappa_i \quad (2)$$

Wyznaczone sztywności giętne poszczególnych stref Z_i pozwalają na zweryfikowanie sztywności zastosowanego połączenia, w odniesieniu do sztywności bazowej – elementu, w którym zbrojenie części słupowej jest w pełni zakotwione w części fundamentowej, bez zastosowania dodatkowych łączników pośrednich. Szczegółowa metoda weryfikacji relacji sztywności pomiędzy próbką z łącznikami i bez nich została opisana w [2].

Połączenie na wytyki – stanowisko badawcze Pekabex

Stanowisko badawcze firmy Pekabex umożliwia przeprowadzenie szerokiego zakresu badań wytrzymałościowych betonowych elementów prefabrykowanych (belkowych, płytowych, słupowych itp.). Do badań wykorzystywane są dwa siłowniki, każdy o udźwigu 1 MN i wysuwie tłoka 150 mm. Odległość między nimi może wynosić $0,34 \div 5,50$ m. Aparatura umożliwia obciążenie badanego elementu siłą o wartości do 2 MN. Standardowo bada się elementy o długości 6,50 m, choć możliwa jest realizacja testowania próbek o długości przekraczającej nawet 20,0 m. W standardowym układzie uzbrojenia stanowiska, wysokość w świetle fundament-siłownik wynosi ok. 1,90 m, z opcją podniesienia belki nośnej. Usytuowanie stanowiska w obrębie istniejącej infrastruktury, w strefie pracy suwnicy, umożliwia badanie elementów o masie do 16,0 t. Badanie cięższych elementów wiąże się z koniecznością indywidualnej mobilizacji dźwigu, ale jest wykonalne. Akwizycji danych pomiarowych badanych ele-

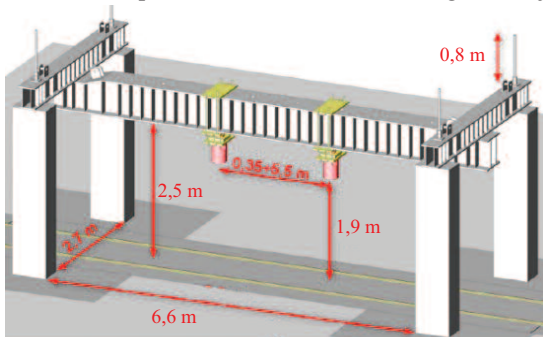
¹⁾ Pekabex BET S.A., Dział Badań i Rozwoju

²⁾ Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu; Pekabex BET S.A.

*) Adres do korespondencji: szymon.wojciechowski@pekabex.pl

mentów dokonuje się za pomocą systemu zbierania i przetwarzania danych firmy HBM. Do pomiaru przemieszczeń wykorzystywane są czujniki indukcyjne o bazie pomiarowej $20 \div 100$ mm oraz czujniki bloczkowe o bazie pomiarowej 500 mm, natomiast sił – siłomierze o wartości nominalnej: 200; 500; 1000 kN i klasie dokładności 0,5. Pomiar odkształceń wykonywany jest za pomocą tensometrów elektrooporowych lub systemu DIC (ang. *Digital Image Correlation*) – wizyjnej oceny odkształceń. Schemat budowy stanowiska badawczego, wraz z naniesionymi wymiarami definiującymi jego przestrzeń roboczą, przedstawiono na rysunku 2.

Badanie sztywności efektywnej połączenia, w którym zastosowano rury robusta, wykonano zgodnie z procedurą opisaną w artykule. Przekrój słupa wynosił 450×450 mm, a przekrój fundamentu 500×500 mm. Rozciągane zbrojenie głównego przekroju referencyjnego składało się z dwóch prętów o średnicy 25 mm i dwóch prętów o średnicy 20 mm, ułożonych na ramieniu sił (odległość zbrojenia rozciąganego względem krawędzi ściskanej przekroju słupowego) równym 400 mm. Zbrojenie połączenia na wytyki składało się z trzech prętów o średnicy 28 mm, ułożonych na ramieniu sił równym 350 mm, co pod względem nośności przekroju na zginanie odpowiada słupowi referencyjnemu. Bazując na pomiarze przemieszczeń z czujników umieszczonych na górnej i dolnej powierzchni elementu oraz równaniach (1) i (2), wyznaczono rozkład sztywności efektywnej EI na długości elementu – od krawędzi połączenia, przez całą długość zakładu wytyków w rurach robusta – w przypadku momentu zginającego 160 kNm, odpowiadało to ok. 60% nośności granicznej (ry-

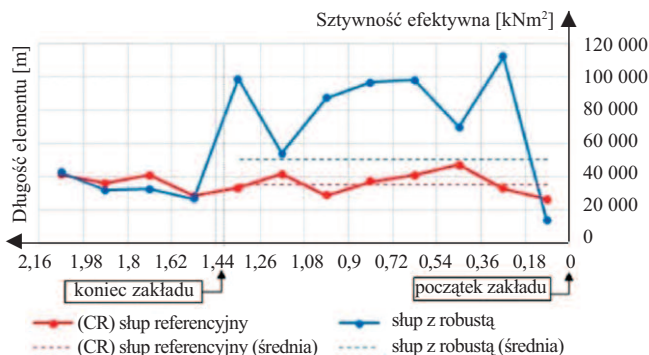


Rys. 2. Stanowisko badawcze Pekabex

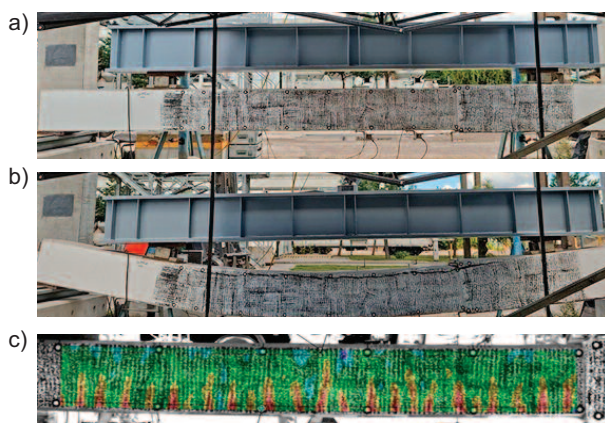
sunek 3). Uzyskane w badaniu wyniki stanowią podstawę do dalszych analiz podsumowujących relację sztywności słupa połączonego na wytyki, w odniesieniu do słupa referencyjnego o ciągłym zbrojeniu głównym. Wykonane, zgodnie z EOTA TR 067, obliczenia potwierdziły pełną sztywność takiego połączenia, definiując je jako nie mniej sztywne niż połączenie referencyjne.

Wizyjna ocena odkształceń – DIC

Obecnie w ramach prac B+R Pekabex opracowuje innowacyjny system budowania hal przemysłowych, w skład którego wchodzi nie tylko nowe produkty, ale także nowa technologia



Rys. 3. Sztywność efektywna połączenia na wytyki i słupa referencyjnego



Badanie metodą wizyjnej oceny odkształceń – DIC: a) słup przed badaniem; b) słup po badaniu; c) obraz z systemu DIC (mapa odkształceń głównych, kolorem czerwonym oznaczono odkształcenia graniczne powodujące zarysowanie elementu betonowego)

ich wytwarzania. Projekt jest objęty dofinansowaniem z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, w ramach programu FENG (Funduszy Europejskich dla Nowoczesnej Gospodarki). Realizowane są badania potrzebne do weryfikacji nośności akcesoriów, elementów prefabrykowanych oraz połączeń między nimi (w tym w schemacie zginania słupowych połączeń) zgodnie z procedurą opisaną w EOTA TR 067. W ramach badań wykorzystywany jest system Aramis DIC, bazujący na cyfrowej korelacji obrazu, umożliwiający bezkontaktowy pomiar przemieszczeń i odkształceń, stanowiąc ważne uzupełnienie rzeczywistych pomiarów. System wymaga przygotowania powierzchni pomiarowej próbki przez naniesienie odpowiedniego desenu (czarno-białe tło pomiarowe). Na fotografii pokazano słup przed i po badaniu oraz obraz z systemu DIC.

Literatura

- [1] Wojciechowski S. Węzły fundamentowe prefabrykowanych słupów montowanych na wytyki. Nowoczesne Hale 02/2017.
- [2] Bending of column shoe connections – tests and results, European Organization for Technical Assessment, TR 067, 2018.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

www.s-p-b.pl



ROK ZAŁOŻENIA 1994