

dr inż. Mateusz Surma<sup>1\*)</sup>  
mgr inż. Szymon Wojciechowski<sup>1)</sup>

# Analiza pracy poprzecznej łączników prętów jako przykład działań B+R w nowoczesnej prefabrykacji betonowej

**D**ziałania liderów branży prefabrykacji betonowej w obszarze budowania nowoczesnego know-how z roku na rok stają się coraz bardziej aktywne, twórcze i efektywne. Przykładem takich działań jest analiza pracy poprzecznej łączników prętów przeprowadzona przez Dział R&D Pekabex w celu weryfikacji i optymalizacji modeli obliczeniowych, systematyzacji warsztatu prac projektowych oraz poszerzenia asortymentu stosowanych rozwiązań.

## Połączenia prętów w prefabrykacji

Odpowiednio zaprojektowane i wykonane połączenie zbrojenia ma zapewnić przekazywanie sił z jednego pręta na drugi. Eurokod 2 [1] punkt 8.7 dotyczy połączeń na zakład prętów z hakami i bez, spajania oraz połączeń mechanicznych. Do łączenia elementów prefabrykowanych stosuje się łączniki mechaniczne (tuleje), o których norma [1] jedynie wspomina. Są one głównym sposobem połączenia poziomych i pionowych elementów w węzłach: słup-fundament; belka-słup; płyta-podpora; wymiany; marki stalowe i inne. Zaletą rozwiązania jest możliwość skrócenia czasu montażu, a także łatwość realizacji w porównaniu z połączeniami spawanymi oraz możliwość przejścia obciążeń już w fazie montażowej bez oczekiwania na osiągnięcie odpowiedniej wytrzymałości zaprawy w rurach karbowanych z prętami wytykowymi. Na rynku występuje bogata gama łączników mechanicznych prętów, wśród których są tuleje standardowe, redukcyjne, dystansowe, płytki kotwiące itp.

<sup>1)</sup> Grupa Pekabex  
<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji:  
mateusz.surma@pekabex.pl

Łączniki zróżnicowane pod kątem materiałowym (od łatwo spawalnej stali konstrukcyjnej S355 po trudno spawalne stale o  $f_{yk} > 700$  MPa), rodzaju gwintu (metryczny, drobnozwojowy, stożkowy), grubości ścianek (cienkościenne, grubościennie) mają uciążać pręty zarówno zbrojeniowe B500 o klasie ciągliwości B i C (gwintowane, spęczane i następnie gwintowane), jak i gwintowane wyższych klas, pracujące pod obciążeniem statycznym lub quasi-statycznym oraz umożliwiając ich połączenie z elementami konstrukcji stalowych. Wymiarując połączenie, przyjmuje się nośność obliczeniową na rozciąganie i ściskanie jako równą nośności prętów wkręconych w tuleję. Taka weryfikacja obliczeniowa jest prosta, czasami tylko wymaga analizy głębokości wkręcenia w przypadku pręta o wyższej klasie wytrzymałości niż standardowa lub doboru odpowiedniej spoiny w przypadku dospawania tulei do marki stalowej czy prętów kotwiących do tulei. Trudniejszym zagadnieniem jest określenie nośności na ścinanie łącznika prętów.

W projektowaniu rozwiązań konstrukcyjnych z zastosowaniem stalowych elementów złącznych, poza podstawową częścią Eurokodu 3 [2], pomocna jest także jego część dotycząca wymiarowania węzłów [3]. Traktując łączone elementy stalowe (pręty żebrowane lub gwintowane) jako wchodzące w skład konstrukcji żelbetowych, wyznaczenie nośności na ścinanie wykonąć można zgodnie z podstawową normą do projektowania konstrukcji żelbetowych [1] oraz jej częścią dotyczącą projektowania zamocowań do stosowania w betonie [4]. Dokładając do wymienionych dokumentów normatywnych (z których każdy proponuje zbliżone, ale nie identyczne podejście obli-

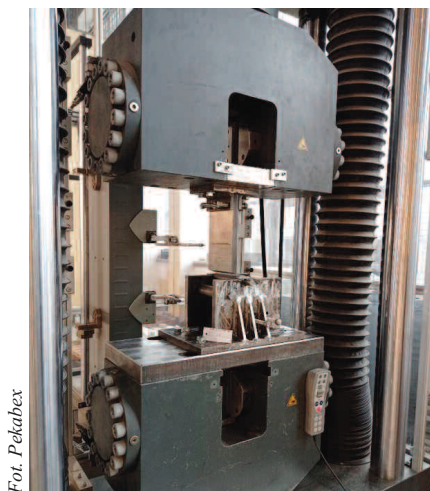
zeniowe) możliwość wymiarowania połączenia z zastosowaniem analizy sprężystej lub plastycznej, finalnie otrzymujemy co najmniej sześć różnych nośności połączenia, które w przypadku pręta żebrowanego  $\varnothing 20$  mm ze stali B500B wynoszą 57,6 – 90,7 kN. W celu określenia bezpiecznej, a zarazem efektywnej wartości wytrzymałości na ścinanie rozważanego węzła niezbędne jest wykonanie badań laboratoryjnych weryfikujących znaną metodą obliczeniową.

## Gilotyna do próby jednopłaszczyznowego ścinania

W ramach prac B+R zaprojektowano i wykonano specjalną gilotynę do cięcia stalowych elementów łącznikowych w badawczej próbie jednopłaszczyznowego ścinania. Budowa gilotyny umożliwia ścinanie stalowych elementów o zamkniętym przekroju pełnym lub drążonym w jednej płaszczyźnie cięcia z zachowaniem precyzyjnego prowadzenia noża w kierunku pionowym. Etap projektowania i realizacji gilotyny był poprzedzony studium literaturowym w celu wskazania znanych rozwiązań o przeznaczeniu zbliżonym do zamierzonego. Wśród nich należy wskazać gilotyny do ścinania elementów kompozytowych na bazie włókien szklanych GFRP [5] i stalowych prętów gładkich [6].

Do przeprowadzenia próby laboratoryjnej ścinania elementów, we wszystkich wskazanych rozwiązaniach, niezbędne jest zastosowanie dodatkowych wkładek dociskowych indywidualnie dobranych do badanego przekroju poprzecznego elementu. Istotną zaletą gilotyny w odniesieniu do znanych urządzeń do badania ścinania jest możliwość testowania elementów o różnej długości

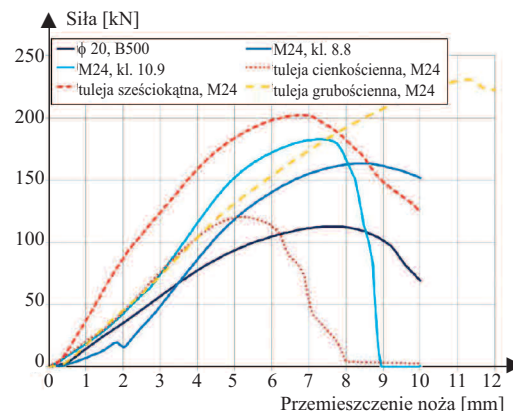
i wysokości, bez konieczności stosowania dodatkowych przekładek i złączek. Dzięki temu gilotyina umożliwia badanie elementów niesymetrycznych i o różnym kształcie przekroju. Zaprojektowano ją tak, aby mogła być wpasowana zarówno w profesjonalne maszyny wytrzymałościowe pionowego działania, z precyzyjnym pomiarem siły, w jednostkach naukowo-badawczych, jak również przemysłowe stanowiska badawcze. Dzięki zastosowaniu stali szybko tnącej typu SW7M i dodatkowo procesowi utwardzania termicznego (hartowania) uzyskano twardość noży (płaszczyzn tnących pionowej i poziomej) wynoszącą ok. 63 HRC (skala twardości Rockwella), co umożliwia cięcie elementów stalowych o twardości do 60 HRC (np. przekrojów ze stali klasy 10.9) z zachowaniem teoretycznego modelu zniszczenia w wyniku ścinania, wykluczając niepożądane wpływy zginania elementu i lokalnego zgniatania materiału. Obecnie trwa proces objęcia gilotyiny ochroną wzoru użytkowego.



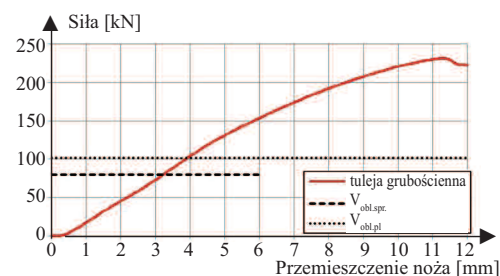
Fot. Pekabex

**Gilotyna do jednopłaszczyznowego ścinania łączników w maszynie wytrzymałościowej**

przeźren o szerokości 5 mm w płaszczyźnie ścinania. W badaniu uzyskano zakładaną osiowość w płaszczyźnie ścinania dzięki sztywnemu zamocowaniu noża tnącego, układowi rolkowych przewodnic w gilotyinie oraz odpowiedniemu ustabilizowaniu ścinanego elementu w uchwytach gilotyiny. W przypadku każdego elementu stalowego wykonano trzy tożsame próby. Uzyskano bardzo dużą zgodność wyników, tj.: w przypadku prętów żebrowanych i gwintowanych współczynnik zmienności  $v < 1,5\%$ , a tulei –  $v = 3,5 - 7,5\%$ . Na rysunku 1 przedstawiono rozwój średniej siły tnącej w funkcji przemieszczenia badanych elementów, a na rysunku 2 siłę tnącą w funkcji przemieszczenia w przypadku tulei grubościennych. Wszystkie badane elementy uzyskały wartość maksymalnej siły tnącej większą niż obliczeniowa nośność plastyczna zgodna z [2]. Uzyskano także bardzo dużą zgodność wyników między obliczeniową nośnością sprężystą wg normy [2] a wartością empiryczną, za którą przyjęto punkt zmiany pochylenia krzywej testowej zależności siła tnąca-przemieszczenie. Badania doświadczalne potwierdziły słuszność stosowania sprężystego założenia obliczeniowego w przypadku wyznaczania nośności tulei (przekrój pierścieniowy) i plastycznego założenia obli-



**Rys. 1. Wykres zbiorczy rozwoju siły tnącej w przypadku prętów zbrojeniowych, gwintowanych i tulei łącznikowych w próbie jednopłaszczyznowego ścinania**



**Rys. 2. Wykres rozwoju siły tnącej tulei grubościennej w próbie jednopłaszczyznowego ścinania**

zeniowego przy wyznaczaniu nośności pręta żebrowanego i gwintowanego (przekrój pełny).

## Literatura

- [1] PN-EN 1992-1-1, Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [2] PN-EN 1993-1-1, Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [3] PN-EN 1993-1-8, Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-8: Projektowanie węzłów.
- [4] PN-EN 1992-1-1, Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 4: Projektowanie zamocowań do stosowania w betonie.
- [5] Gilbert D., A. Mirzaghobanali, X. Li, H. Rasekh, N. Azi. 2015. *Strength properties of fibre glass dowels used for strata Reinforcement in coal mines*. Coal Operators' Conference 2015, The University of Wollongong.
- [6] Hamakareem M. I. Double shear test in Mild Steel. <https://theconstructor.org/practical-guide/double-shear-test-steel/2500/>.

Partner działu:

**Stowarzyszenie Producentów Betonów**

[www.s-p-b.pl](http://www.s-p-b.pl)

