

# Streszczenie

## **Nośność graniczna rozciąganych kształowników mocowanych jedną ścianką**

W ramach rozprawy doktorskiej przedstawiono stan wiedzy na temat nośności rozciąganych kształowników mocowanych jedną ścianką. Przegląd obejmował badania doświadczalne (prowadzone głównie w ośrodkach zagranicznych), jak również normy dotyczące projektowania konstrukcji stalowych i ich połączeń.

W przeprowadzonych przez autorkę analizach skupiono się na kątownikach mocowanych jednym ramieniem za pomocą śrub, które są szczególnym przypadkiem rozciąganych połączeń zakładkowych. Ze względów technologicznych i wykonawczych są one bardzo często wykorzystywane jako pręty stężeń lub skratowanie wież i masztów stalowych. Z powodu kształtu ich przekroju poprzecznego, najczęstszą formą mocowania kątownika jest łączenie go za pomocą tylko jednego ramienia. Jeśli stosowanymi łącznikami są śruby, dodatkowo dochodzi do osłabienia przekroju poprzecznego ścianki przylgowej. Oba te wpływy (mimośród mocowania oraz osłabienie przekroju poprzecznego jednej ścianki) wywołują powstanie momentu zginającego, który obciąża połączenie i łączone ze sobą elementy, nominalnie osiowo rozciągane. Nierównomierny rozkład naprężeń w obszarze połączenia wywołany powyższymi czynnikami znacząco wpływa na nośność graniczną kształownika.

W ramach rozprawy doktorskiej przeprowadzono szereg badań doświadczalnych, które obejmowały badanie nośności granicznej płaskowników z otworami wierconymi oraz połączeń kątowników z blachą węzłową za pomocą śrub (gdzie liczba śrub w połączeniu wynosiła od 1 do 5). Uzyskane wyniki pozwoliły na częściową weryfikację rozbieżnych modeli obliczeniowych proponowanych w normach krajowych i zagranicznych, jak również posłużyły do walidacji zaawansowanego modelu numerycznego połączenia, za pomocą którego przeprowadzono liczne analizy parametryczne.

Wspomniany model numeryczny obejmował wszystkie części składowe węzła modelowane, jako elementy trójwymiarowe. Jego najważniejszą cechą było zastosowanie w opisie modelu materiału charakterystyk materiału porowatego Gursona-Tvergaard-Needlemana. Dzięki temu możliwe było określenie zachowania się materiału nie tylko w zakresie sprężysto-plastycznym i wzmocnieniu po osiągnięciu granicy plastyczności, lecz także przy jego niszczeniu przy dalszym wzroście obciążenia. Pozwoliło to na wy-

różnienie trzech możliwych form zniszczenia kątownika: rozerwanie przekroju netto, rozerwanie blokowe lub formę mieszaną.

Przeprowadzone analizy parametryczne wykazały wpływ długości połączenia, odległości bocznej osi otworu śruby od krawędzi kątownika (mierzonej prostopadle do kierunku obciążenia), szerokości ramienia przylgowego oraz parametrów mechanicznych stali na nośność kątownika przy rozciąganiu. Wykonane badania doświadczalne (obejmujące 42 elementy) oraz analizy numeryczne (obejmujące 88 elementów) pozwoliły również na modyfikację proponowanego w nowej wersji Eurokodu 3: prEN 1993-1-8:2019 modelu obliczania nośności kątowników łączonych za pomocą jednego ramienia.

# Summary

## Ultimate tensile resistance of steel members connected by single wall

As part of dissertation, the current state of knowledge on ultimate tensile resistance of steel members connected by single wall was presented. The review included experimental test (conducted mainly on foreign research centers) as well as standards related to designing of steel structures and their connections.

The conducted analyzes focused on angles joined by only one leg using bolts, which are a special case of tensioned lap bolted connections. Because of their easiness of fabrication and assembly, angles are often used as bracing members in steel-structure halls, towers and masts. For practical reasons angles are usually connected to gusset plates or other elements only by one leg. If bolts are used as the fasteners, the cross-section of connected wall is additionally weakened. Both of these influences (eccentricity of connection and weakening of the cross-section of one wall) cause a bending moment that loads the connection and joined elements, nominally axially tensioned. Unequal stress distribution (which is the result of above factors) in the vicinity of the connection affects load capacity of angle cross-section.

As part of doctoral dissertation, a number of experimental investigations were carried out, which included testing of ultimate resistance of single plates with drilled holes and angles connections with gusset plates using different numbers of bolts (from 1 to 5). The obtained results allowed for partial verification of divergent calculation models proposed in domestic and foreign standards, as well as were used to validate the advanced numerical model of angle connection, by means of which several parametric analyzes were carried out.

Finite Element model of joint consisted of all connection components, modeled as three dimensional elements. The most important feature of FEA model was the use of Gurson-Tvergaard-Needleman porous material characteristics in the description of material parameters. Thanks to this, it was possible to determine the material behavior not only in elastic-plastic range, taking into account the plastic shelf and its strengthening after reaching the yield point, but also the phenomena of material destruction with a further increase in load. This allowed to distinguish three possible angle failure modes: net-section tearing, block tearing and mixed failure mode.

Performed parametric analyzes showed the effect of the length of the connection, the edge distance from the centre of a fastener hole to the adjacent edge of angle (measured at right angles to the direction of load transfer), the width of the connected leg and the mechanical parameters of steel on the tensile resistance of angles. Experimental tests (which included 42 elements) and numerical simulations (consisted of 88 elements) also allowed to modify the analytical model for calculating the tensile resistance of angles connected by one leg, proposed in the new version of Eurocode 3: prEN 1993-1-8: 2019.