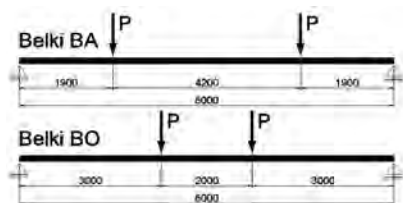


zestaw belek ażurowych (BA), a drugi z dwoma pojedynczymi otworami (BO). Belki obciążono w dwóch miejscach siłą P (rys. 3).



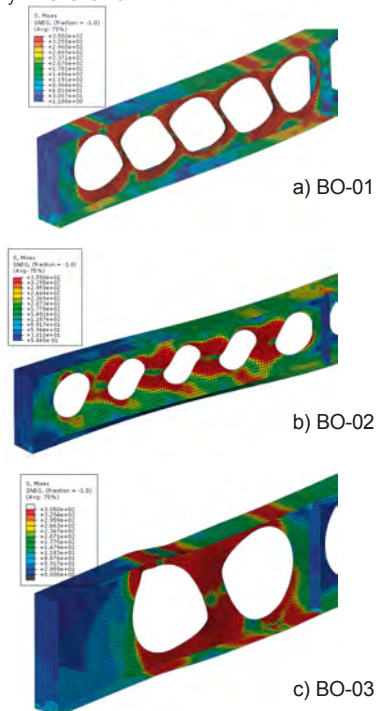
Rys. 3. Schematy statyczne do modelu MES dla belek ażurowych BA oraz belek otworowanych BO, wymiary w mm

Użyto 8-węzłowych elementów powłokowych. W celu wyeliminowania efektów zwichrzenia belki zablokowano jej przesuw pasa górnego. Do obliczenia maksymalnej siły użyto analizy nieliniowej uwzględniającej nieliniowość geometryczną. Dodatkowo zaimplementowano imperfekcje poprzez przyrównanie geometrii do postaci wyoboczeniowej belki.

Jako obciążenie maksymalne przyjmuje się P_{MES} , obciążenia maksymalne poszczególnych metod analizy wyznaczane są dla siły P_{MAX} , dla której dana nośność osiąga swoje maksimum.

Belka ażurowa

Wszystkie belki ażurowe zniszczyły się wskutek wyoboczenia słupków, co potwierdzają również maksymalne siły P_{MAX} (tab. 1.). W przypadku warunku nośności z normy ENV1993-1-1:A2 różnica względna wynosi 14% dla belki BA-01 oraz 3% i 6% kolejno dla BA-2 oraz BA-3. Na rys. 4. przedstawiono formy zniszczenia.

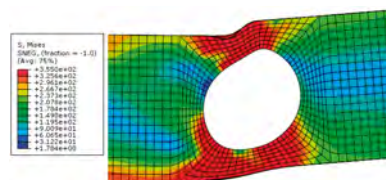


Rys. 4. Zniszczenie belek

Belka otworowana

W celu dokładniejszego zbadania zniszczenia Vierendeela przeanalizowano belki o charakterystykach takich jak w tabeli 2., z pojedynczymi otworami. Schemat obciążenia przedstawiono na rys. 3.

Najbardziej zbliżone wyniki PMES występują dla metody Chunga. Wygląd samego zniszczonego fragmentu objawia się w charakterystyczny sposób (rys. 5.).



Rys. 5. Mechanizm Vierendeela dla BO-01

Wnioski

- Proponuje się, aby podstawowe zasady analizy belek otworowanych zostały opisane w aktualnych normach.
- Metody interakcji M-N oraz w prenormie ENV, sprawdzające nośność ze względu na zniszczenie Vierendeela, prezentują zachowawcze wyniki.
- Najbardziej zbliżone wyniki co do zniszczenia wskutek mechanizmu Vierendeela prezentuje metoda podana przez Chunga.
- Metoda z prenormy ENV, opisująca utratę stateczności, daje zbliżone wyniki w porównaniu do MES, choć zaleca się potwierdzenie doświadczalnie.
- Metoda pól naprężeń do oceny stateczności średnika daje bardziej zaniżone nośności. Należałoby zaproponować bardziej uszczegółowione rozwiązanie ze względu na złożony stan naprężeń w średniku. ■

DOI: 10.5604/01.3001.0013.2441

Bibliografia

- [1] Eurocode 3, Design of steel structures: Part 1-1: General rules and rules for buildings, 1992, and Amendment A2 of Eurocode 3: Annex N 'Openings in webs', London, UK: British Standards Institution, ENV 1993-1-3, 1998.
- [2] PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [3] Lawson R.M., LIM J., HICKS S.J. and SIMMS W.I., Design of composite asymmetric cellular beams and beams with large web openings, "Journal of Constructional Steel Research", Vol. 62, No.6, June 2006, pp. 614-629.

Streszczenie: Celem artykułu jest porównanie różnych sposobów analizy nośności belki stalowej z otworami okrągłymi w aspekcie projektowania konstrukcji. Zwrócono uwagę na model zniszczenia związany z mechanizmem Vierendeela oraz utratą stateczności słupka międzyotworowego. W pierwszym modelu porównano trzy metody analizy, a drugim dwie. Otrzymane wyniki metod porównano z wynikami MES dla dwóch zestawów belek – belek ażurowych i z pojedynczymi otworami.

Słowa kluczowe: belki otworowane, belki ażurowe, belki stalowe, Vierendeel

ABSTRACT: MODELING AND ANALYSIS STEEL BEAM WITH CIRCULAR OPENINGS

Second part of this article shows known ways to analyze web-post buckling of steel beams with circular openings. Theoretical methods of analyzing such beam capacity were compared with results of FEM for two types of beams – cellular beams and beams with single openings.

Key words: beam with openings, cellular beam, steel beam, Vierendeel, opening

Tab. 1. Siły maksymalne dla poszczególnych metod w porównaniu do wyników MES

Zniszczenie	Nośność	P_{MAX} [kN]		
		BA-01	BA-2	BA-3
Mech. Vierendeela	M-N	140	150	134
	ENV	138	151	105
	Chung	167	175	163
Utrata stateczności słupka	SCI	66	134	164
	Pola napr.	60	115	90
MES	PMES	77	130	154
	Forma zniszczenia	C	C	B i C

A – Uplastycznienie przekroju, B – mechanizm Vierendeela, C – Utrata stateczności słupka

Tab. 2. Porównanie sił z analizowanych metod z wynikami MES dla belek otworowanych

Zniszczenie	Nośność	P_{MAX} [kN]		
		BO-01	BO-02	BO-03
Mech. Vierendeela	M-N	112	116	110
	ENV	106	111	89
	Chung	129	129	135
MES	PMES	138	132	153