

PRACA ŚCISKANEJ PŁYTY Z WYCIĘCIEM W ZAKRESIE POKRYTYCZNYM

Streszczenie

W pracy zajmowano się oryginalną koncepcją płytowego elementu cienkościennego z wycięciem o nieregularnych kształtach do zastosowania, jako element sprężysty lub nośny. Badano wpływ parametrów geometrycznych wycięcia oraz jego kształt na kształtowanie się pokrytycznych ścieżek równowagi. Do opracowania modelu dyskretnego i wykonania obliczeń numerycznych zastosowano komercyjny program ABAQUS. Przeprowadzone obliczenia numeryczne stanowią wstępny etap badań dotyczących pracy konstrukcji w zakresie pokrytycznym sprężystym z wymuszoną giętno-skrętną postacią utraty stateczności.

WSTĘP

Jednolite, cienkie płyty należą do grupy elementów konstrukcyjnych dosyć tanich w wytwarzaniu, jednak ze względu na niewielką sztywność na zginanie, mogą przenosić stosunkowo nieduże obciążenia [3]. Gdy są ściskane, utrata stateczności następuje przy niewielkim obciążeniu i ma charakter wyboczenia giętnego [2, 4, 6, 12-15]. Znane powszechnie sposoby poprawy nośności płyt poprzez zastosowanie usztywnień czy przetłoczeń, prowadzą do znacznej zmiany postaci konstrukcyjnej, a tym samym wzrostu ciężaru ustroju cienkościennego.

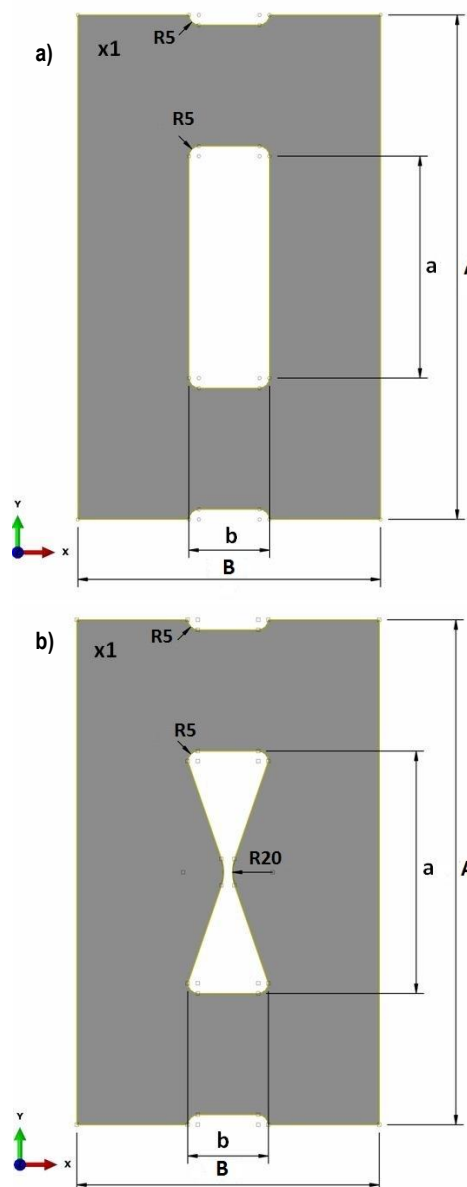
Istnieje jednak sposób by znacznie poprawić nośność tego typu konstrukcji, poprzez wykonanie centralnego wycięcia i wymuszenie pracy konstrukcji według wyższej, (giętno-skrętnej) postaci wyboczenia.

W związku z tym do podstawowych zagadnień należy nośność tego typu ustrojów w konkretnych warunkach pracy konstrukcji, a także wpływ wielkości i rodzaju wycięcia na wspomnianą nośność. Dostyć spory wkład wnoszą prace [5, 7-9, 11], gdzie rozważano nośność graniczną tego typu ustrojów. Nie natrafiono jednak na opracowania, w których badano by ustroje płytowe z otworami i w których próbowano by wymusić deformację ustroju według wyższej giętno-skrętnej postaci.

W pracy zajmowano się koncepcją odpowiedniego ukształtowania parametrów geometrycznych cienkościennego płytowego elementu z wycięciem, bez zmian jego wymiarów gabarytowych, w celu uzyskania efektu poprawy nośności. Badano wpływ parametrów geometrycznych wycięcia oraz jego kształt na charakterystykę pracy konstrukcji w zakresie obciążeń eksploatacyjnych, a także wyznaczono odpowiadające im postaci utraty stateczności. Badania obejmowały liniową i nieliniową analizę numeryczną konstrukcji z wykorzystaniem metody elementów skończonych (FEM), przy użyciu oprogramowania ABAQUS [1].

1. PRZEDMIOT BADAŃ

W obliczeniach przyjęto płytowy model konstrukcji wykonany z materiału izotropowego. Przedmiot badań stanowiły dwie grupy prostokątnych płyt o stałych wymiarach gabarytowych $A=250$ [mm] x $B=150$ [mm] i grubości $g=1$ [mm]. Analizowane płyty posiadały centralne wycięcia o kształcie prostokąta i klepsydry. Wymiary geometryczne płyt zostały przedstawione na rys. 1.



Rys. 1. Płyty prostokątne z wycięciami: a) wycięcie o kształcie prostokątnym, b) wycięcie o kształcie zbliżonym do klepsydry [opracowanie własne]

Wymiary symetrycznych wycięć znajdujących się w środku analizowanych płyt, stanowiły parametry geometryczne konstrukcji

mające decydujący wpływ na charakterystykę układu w stanie obciążonym. Zakres przyjętych parametrów geometrycznych wycięcia wynosił odpowiednio: $a = 80 \div 200$ mm oraz $b = 10 \div 50$ mm.

Jako materiał płyty przyjęto stal sprężynową 50 HS o właściwościach podanych poniżej:

1. Moduł Younga $E=210000$ [MPa].
2. Liczba Poissona $\nu=0.3$.
3. Granica plastyczności $R_e=1180$ [MPa].
4. Wytrzymałość na rozciąganie $R_m=1320$ [MPa].

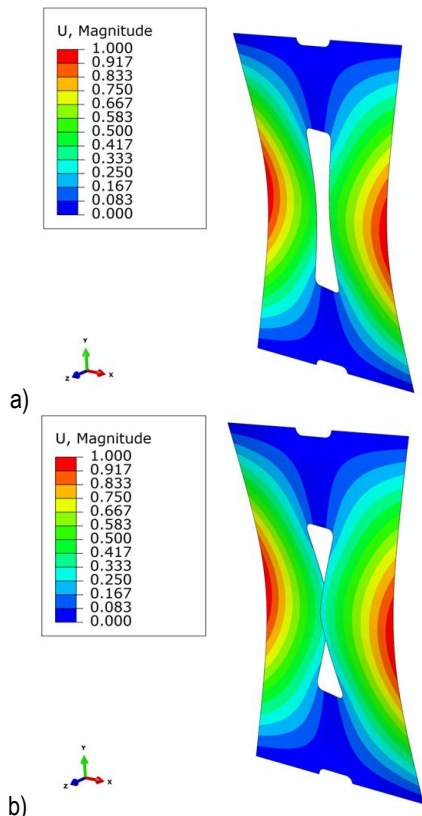
W przypadku elementów sprężystych wykonanych z materiału o charakterystyce sprężysto-plastycznej, poziom granicy plastyczności decyduje o parametrach granicznych konstrukcji, stanowiąc jednocześnie istotne ograniczenie w projektowaniu tego typu układów.

2. ANALIZA NUMERYCZNA

Do wykonania modelu dyskretnego płyty oraz przeprowadzenia analizy numerycznej wykorzystano komercyjny program ABAQUS.

Płyta została podparta przegubowo i obciążona siłą ściskającą rozłożoną równomiernie na górnej krawędzi. Warunki brzegowe odblokowujące przegubowe podparcie płyty zdefiniowano poprzez zablokowanie kinematycznych stopni swobody węzłów znajdujących się na górnej i dolnej krawędzi elementu.

Obliczenia numeryczne prowadzono dwuetapowo. Etap pierwszy obejmował analizę stanu krytycznego konstrukcji, gdzie rozwiązanie zagadnienia własnego dotyczyło określenia wartości obciążenia krytycznego oraz odpowiadającej mu postaci utraty stateczności. W każdym przypadku wyznaczano 3 najniższe postaci wyboczenia, co pozwoliło na określenie wyższej postaci - giętno-skrętnej, zapewniającej stateczny charakter pracy konstrukcji po wyboczeniu (rys.2).



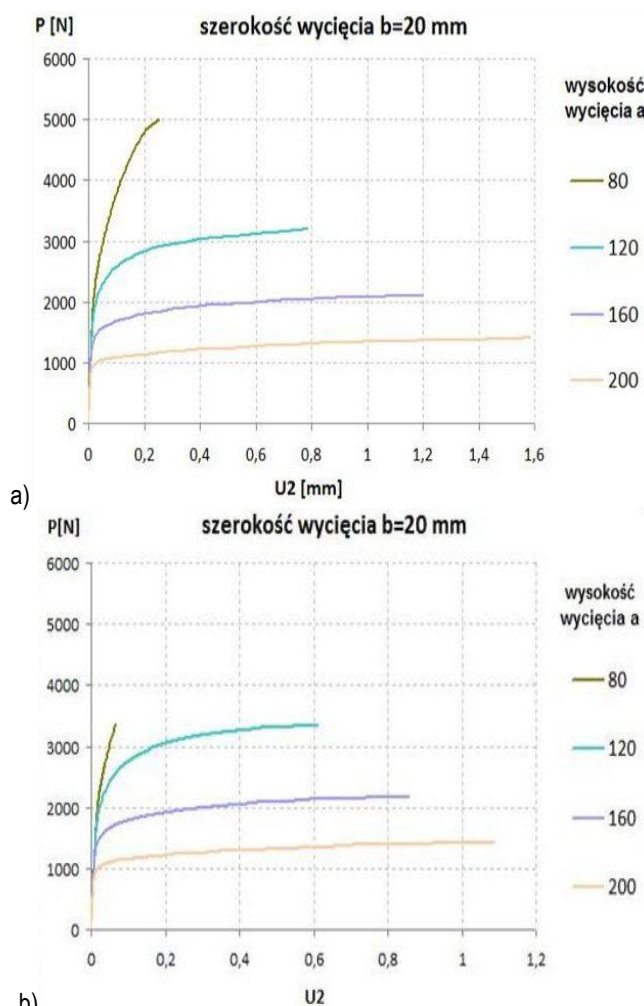
Rys. 2. Postacie utraty stateczności przykładowych płyt z wycięciem uzyskane w programie ABAQUS a) wyższa postać: giętno-skrętna płyty z wycięciem prostokątnym b) wyższa postać: giętno-skrętna płyty z wycięciem o kształcie klepsydry [opracowanie własne]

Etap drugi stanowił rozwiązanie zagadnienia nieliniowej stateczności, w którym obliczenia prowadzone były na modelach z zainicjowaną imperfekcją geometryczną odpowiadającą giętno-skrętnej postaci wyboczenia konstrukcji.

Przyjęta w nieliniowej analizie stateczności postać wyboczenia płyty stanowiła wyższą wartość własną, odpowiadającą postaci giętno-skrętnej, wymuszającej niesymetryczne ugięcia płyty względem wycięcia w przeciwnych kierunkach.

3. DYSKUSJA WYNIKÓW

Przeprowadzone obliczenia numeryczne umożliwiły wyznaczenie pokrytycznych ścieżek równowagi ściskanych płyt prostokątnych w zależności od parametrów geometrycznych wycięcia – wysokości a oraz szerokości b, a także od jego kształtu. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys.3., dotyczą one wybranej grupy płyt o szerokości wycięcia $b=20$ [mm]. Uzyskane ścieżki równowagi prezentowane są do momentu pojawienia się uplastycznienia w narożu wycięcia.



Rys. 3. Ścieżki równowagi pokrytycznej $P-U_2$ w zależności od wysokości wycięcia dla: a) płyty z wycięciem prostokątnym b) płyty z wycięciem o kształcie klepsydry

Na podstawie rys. 4 można zauważyć, że zmieniając wymiary określające wycięcie w płycie oraz jego kształt, można wpływać na charakterystykę pokrytycznych ścieżek równowagi.

Ilościowa analiza wyników wykazała dużą rozbieżność możliwości przenoszenia obciążenia dla różnych wysokości wycięcia co też potwierdza decydujący wpływ wysokości wycięcia a na charakterystykę pokrytyczną badanych płyt. Niemalże pięciokrotny wzrost

możliwości przenoszenia obciążenia w zakresie sprężystym osiągnięty został przy jednakowych wymiarach gabarytowych płyty. Ma to istotne znaczenie praktyczne w przypadku konstrukcji z elementami sprężystymi, pozwalając tym samym osiągać wymagane charakterystyki eksploatacyjne ustroju cienkościennego.

Jak się okazuje sama zmiana kształtu wycięcia nie ma tak istotnego wpływu jak jego wymiary obwiedniowe.

Otrzymane wyniki potwierdzają możliwość kształtowania parametrów sztywnościowych badanych elementów w dosyć szerokim zakresie, przy zachowaniu stałych wymiarów gabarytowych konstrukcji.

WNIOSKI

W pracy zaprezentowano analizę numeryczną nieliniowej stateczności niejednostopnych płyt poddanych ściskaniu.

Badania prowadzono w zakresie numerycznej analizy MES stanu krytycznego dla różnych parametrów geometrycznych wycięcia, zmieniając wysokość a oraz szerokość b wycięcia przy zachowaniu tych samych wymiarów gabarytowych płyty oraz dla różnych kształtów wycięć. Otrzymane wyniki wykazały dosyć istotny wpływ wymiarów wycięcia, a w szczególności wysokości wycięcia a na charakterystykę pokrywczą badanych płyt. Zaprezentowane krzywe wskazują, że przy tych samych wymiarach gabarytowych płyty można uzyskać zdecydowanie odmienne charakterystyki pracy konstrukcji, kształtowane wymiarami wycięcia i jego kształtem. Przy czym sam kształt wycięcia nie ma już tak dużego wpływu jak jego wymiary obwiedniowe.

Analiza otrzymanych pokrywcznych ścieżek równowagi umożliwia ocenę pracy konstrukcji po utracie stateczności, pozwalając ocenić sztywność elementu sprężystego w zależności od wymiarów i kształtu wycięcia. Otrzymane wyniki dostarczają zatem istotnych informacji zarówno w procesie kształtowania jak i optymalizacji charakterystyki pracy konstrukcji w kontekście obciążeń eksploatacyjnych.

BIBLIOGRAFIA

1. ABAQUS HTML. Documentation.
2. BAZANT Z.P., CEDOLIN L.: *Stability of structures. Elastic, inelastic, fracture and damage theories*. Oxford University Press, 1991.
3. CAMELL F.C.: *Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials*, Elsevier, 2006.
4. COAN J.M.: *Large-Deflection Theory for Plates With Small Initial Curvature Loaded in Edge Compression*. ASME. Journal of Applied Mechanics 18, 1951, 143-151.
5. KOTELKO M.: Failure mechanisms of thin-walled iso- and orthotropic girders subject to bending. Technical University of Lodz Press, Ldz, 2000 [in Polish].
6. KRÓLAK M., MANIA R.J., (eds.): *Statics, dynamics and stability of structures. Stability of thin-walled plate structures*. Series of monographs. Technical University of Lodz, Lodz, 2011.
7. KWON Y.B., KIM B.S., HANCOCK G.J.: *Compression tests of high strength cold-formed steel channels with buckling interaction*. J. Constr. Steel. Res., 63, 2007, pp. 1590-602.
8. NARAYANAN R., CHOW F.Y.: *Ultimate capacity of uniaxially compressed perforated plates*. Thin-Walled Structures; 2(2), 1984, 241-264.
9. PRABHAKARA D.L., DATTA P.K.: *Vibration, Buckling and Parametric Instability Behaviour of Plates with Centrally Located Cutouts Subjected to In-Plane Edge Loading (Tension or Compression)*. Thin-Walled Structures, 27(4), 1997, 287-310.
10. RUSIŃSKI E., CZMOCHOWSKI J., SMOLNICKI T.: *Advanced Finite Element Method in stability construction*. Wrocław University of Technology Press, 2000 (in Polish).
11. SHANMUGAM N.E., THEVENDRAN V., TAN Y.H.: *Design formula for axially compressed perforated plates*. Thin-Walled Structures, 34(1), 1999, 1-20.
12. SIMITSES G.J., HODGES D.H.: *Fundamentals of structural stability*. Elsevier/Butterworth-Heinemann, Amsterdam, 2006.
13. SINGER J., ARBOCZ J., WELLER T.: *Buckling Experiments. Experimental methods in buckling of thin-walled structure. Shells built-up structures, composites and additional topics*. John Wiley & Sons Inc., New York, 2002.
14. TERESZKOWSKI Z.: *An experimental method for determining critical loads of plates*. Archive of mechanical engineering, 3, 1970; 485-493.
15. VAN DER HEIJDEN A. M. A. (red.), W.T. KOITER: *Elastic Stability of Solids and Structures*. Cambridge University Press, 2009.

THE WORK OF COMPRESSION PLATE WITH CUT-OUT IN THE POSTCRITICAL AREA

Abstract

The study dealt the original conception of thin-walled plate element with a irregular shape cut-out for use as a spring element or carrying element. The influence of cut-out geometrical parameters and of cut-out shape on the formation of equilibrium postcritical paths was researched. To develop a discrete model and perform the calculation used a commercial program - ABAQUS that uses finite element method. The performed numerical calculations constitute the initial phase of research, concerning the work construction in postcritical elastic area with forced flexural-torsional form of loss of stability.

Autorzy:

Falkowicz Katarzyna, Ferdynus Mirosław, Wysmulski Paweł, Różyło Patryk - Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Mechatroniki, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin k.falkowicz@pollub.pl, m.ferdynus@pollub.pl, p.wysmulski@pollub.pl, p.rozylo@pollub.pl,