

## Wyboczenie lokalne w belkach trójwarstwowych z lekkim rdzeniem

Iwona Wstawska<sup>1</sup>, Paweł Jasion, Karolina Wiśniewska

<sup>1</sup>Institut Mechaniki Stosowanej, Politechnika Poznańska

e-mail: iwona.wstawska@put.poznan.pl, pawel.jasion.put.poznan.pl, karolina.st.wisniewska@doctorate.put.poznan.pl

**STRESZCZENIE:** Celem pracy jest numeryczna analiza stateczności belek trójwarstwowych z rdzeniem w postaci stalowej pianki. Belki były poddane czystemu zginaniu. Przeprowadzono analizę numeryczną zjawiska wyboczenia lokalnego, analizę wpływu parametrów geometrycznych belki i właściwości materiału rdzenia (model liniowy i nieliniowy) na obciążenie krytyczne i postać wyboczenia. Badania zostały przeprowadzone na rodzinie belek o różnych właściwościach materiałowych rdzenia (materiał sprężysty i sprężysto-plastyczny). Ponadto, określono wpływ wielkości imperfekcji geometrycznych na ugięcie i wartości naprężeń normalnych. Niniejsza praca stanowi punkt wyjścia do dalszych badań, w tym analitycznych, nad zjawiskiem lokalnej i globalnej utraty stateczności belek trójwarstwowych z lekkim rdzeniem.

**SŁOWA KLUCZOWE:** stateczność, wyboczenie, czyste zginanie, imperfekcje geometryczne, belka trójwarstwowa

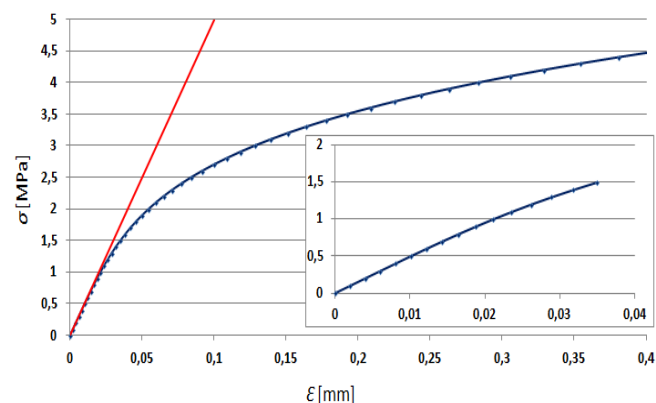
### 1. Przedmiot i zakres / cele pracy

Coraz szersze zastosowanie struktur warstwowych związane jest z ich bardzo dobrymi właściwościami, takimi jak: wysoka odporność na zginanie w porównaniu do cienkich struktur ortotropowych, duża udarność, zmniejszenie grubości konstrukcji (w porównaniu do usztywnianych płyt), duża dokładność wymiarowa, a także zmniejszenie czasu montażu ze względu na zastosowanie podejścia modułowego [1-3].

Każda konstrukcja warstwowa, niezależnie od jej rodzaju: belka, płyta, powłoka, poddana obciążeniom, staje się układem wrażliwym na własną budowę, rodzaj materiału (okładzin i rdzenia), niedoskonałość kształtu, charakter i intensywność obciążenia czy wpływ dodatkowych czynników otoczenia. Jej możliwości technologiczne kształtowane są przez środowisko oraz warunki pracy [4-10].

Zachowanie się belek trójwarstwowych pod wpływem działających na nią obciążeń, a także mechanizmy związane z ich zniszczeniem mogą być określone po przeprowadzeniu prostych testów osiowego ściskania lub zginania. W przypadku pierwszego typu obciążenia, konstrukcja warstwowa może ulec wyboczeniu ogólnemu lub lokalnemu.

Celem badań będzie numeryczna analiza lokalnej stateczności okładzin belek. Otrzymane wyniki pozwolą na porównanie i wybranie konstrukcji o najlepszych właściwościach mechanicznych.



Rys. 1. Liniowa i nieliniowa charakterystyka materiału piany

Ocenie zostanie poddana belka z rdzeniem w postaci pianki metalowej. Zakres badań obejmuje numeryczny opis zjawiska lokalnej stateczności – zmarszczenia – ściskanych okładzin belki, poddanych czystemu zginaniu. Badania numeryczne przeprowadzone zostaną w zakresie sprężystym i sprężysto-plastycznym. Uwzględniona zostanie nieliniowa charakterystyka materiału piany (rys. 1).

### 2. Opis badanego układu i metodologia badań

Model MES belki trójwarstwowej opracowano w systemie ANSYS. Górną i dolną okładzinę odsunięto od rdzenia o połowę ich grubości. W ten sposób uzyskano model w pełni odpowiadający trójwarstwowemu modelowi rzeczywistemu. Pomiedzy okładzinami i rdzeniem zadano warunki powiązania. Model belki został podparty w taki sposób aby zablokować przemieszczenia węzłów okładzin i rdzenia w płaszczyźnie prostopadłej do osi belki.

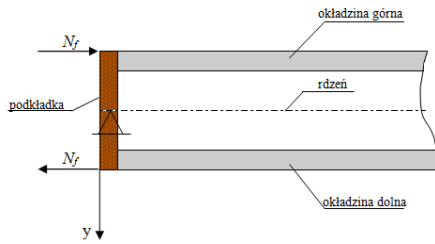
Analizę MES przeprowadzono dla różnych modeli materiału rdzenia: model liniowy i nieliniowy, przy zmiennych wartościach imperfekcji geometrycznych. Badanie polegało na wyznaczeniu wartości naprężeń krytycznych oraz postaci wyboczenia. Przeprowadzono analizę numeryczną zjawiska wyboczenia lokalnego, analizę wpływu właściwości materiału rdzenia na obciążenie krytyczne i postać wyboczenia. Obliczono wartości obciążeń krytycznych oraz wyznaczono postacie wyboczenia. Ponadto, przeprowadzono analizę postaci wyboczenia w zakresie sprężysto-plastycznym. Obliczono wartości ugięcia oraz naprężeń normalnych po utracie stateczności.

### 3. Modelowanie numeryczne i symulacja

Belka na obu końcach obciążona jest momentami zginającymi – parami sił. Założono, że w stanie krytycznym górna okładzina ściskana zmarszczy się – wyboczy, natomiast dolna rozciągana pozostanie płaska (rys. 2). Analizę MES przeprowadzono dla modelu płaskiego 2D.

Belka trójwarstwowa o długości  $L = 400$  mm i szerokości  $b = 100$  mm składa się z dwóch metalowych okładzin o grubości  $t_f = 0,4$  mm oraz rdzenia o grubości  $t_c = 20$  mm. Ponadto, w miejscu podparcia belki

zamodelowano sztywną membranę, celem uniknięcia lokalnych odkształceń wywołanych siłą punktową. Wartości modułów Younga  $E$  okładzin oraz rdzenia wynosiły odpowiednio  $E_f = 10\ 000\ \text{MPa}$  oraz  $E_c = 10\ \text{MPa}$ .



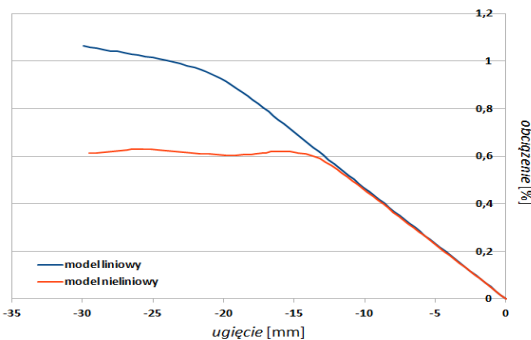
Rys. 2. Schemat modelu belki trójwarstwowej

Siły przyłożono do krawędzi okładzin: ściskającą do krawędzi górnej i rozciągającą do krawędzi dolnej. Do dyskretyzacji przedmiotu wykorzystano element 8-ośmio węzłowy PLANE183 z nieliniową funkcją kształtu.

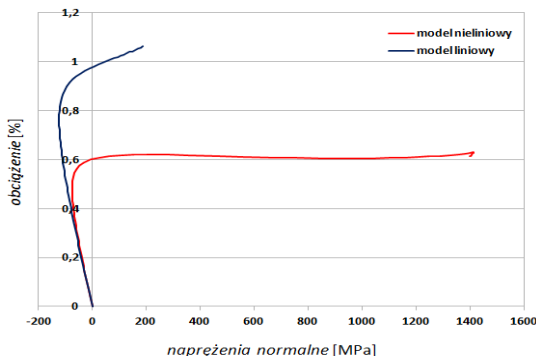
#### 4. Wyniki symulacji i ich analiza

Rysunek 3 przedstawia ścieżki równowagi dla dwóch materiałów: o liniowych i nieliniowych właściwościach rdzenia. Zbadano wpływ wartości obciążenia na ugięcie konstrukcji. Wartość ugięcia, przy tym samym obciążeniu była większa w przypadku konstrukcji o liniowych właściwościach mechanicznych rdzenia.

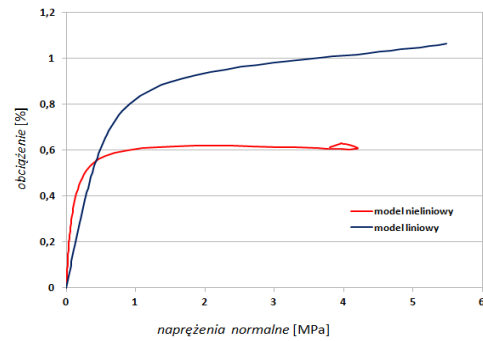
Wartości naprężeń normalnych w rdzeniu i okładzinach przedstawiono kolejno na rys. 4 i 5. Wynika z nich, że wartości te znacznie się od siebie różnią w zależności od zastosowanego materiału.



Rys. 3. Wpływ zadanego obciążenia na ugięcie struktury trójwarstwowej (obciążenie przyłożone na górnej bocznej krawędzi okładziny)



Rys. 4. Wpływ rodzaju materiału i zadanego obciążenia na wartości naprężeń normalnych w okładzinie (obciążenie przyłożone na dolnej bocznej krawędzi okładziny)



Rys. 4. Wpływ rodzaju materiału i zadanego obciążenia na wartości naprężeń normalnych w rdzeniu

#### 5. Podsumowanie

W pracy przedstawiono model numeryczny MES opisujący wyboczenie-marszczenie ściskanej okładziny belki trójwarstwowej poddanej czystemu zginaniu. Zaproponowany model pozwolił wyznaczyć wartości obciążeń krytycznych. Badanie polegało na wyznaczeniu wartości obciążeń krytycznych oraz postaci wyboczenia. Niezależnie od właściwości materiału rdzenia i okładzin, postać wyboczenia była taka sama. Zmianie ulegały tylko wartości obciążeń krytycznych. W zakresie sprężysto-plastycznym określono ponadto wartości ugięcia oraz naprężeń normalnych. Większe wartości ugięcia otrzymano dla nieliniowej charakterystyki materiału rdzenia. Materiał nieliniowy cechował się znacznie większą wartością naprężeń normalnych w okładzinie, natomiast w przypadku rdzenia większe wartości uzyskano dla materiału liniowego. Ponadto, wykresy pozwoliły na wyznaczenie krytycznych obciążeń, które wynosiły około 60% obciążenia wstępnego  $F_{applied} = 1500\ \text{N}$ .

Praca została wykonana w ramach projektu Nr 02/21/DSMK/3481, finansowanego przez MNiSW.

#### Literatura

- [1] Hadi B. K., *Wrinkling of sandwich column: comparison between finite element analysis and analytical solutions*, Composite Structures, Vol. 53, pp. 477-482, 2001.
- [2] Jasion P., Magnucki K., *Wyboczenie-zmarszczenie okładziny belki trójwarstwowej przy czystym zginaniu*, Modelowanie inżynierskie, Vol. 41: pp. 151-156, 2011.
- [3] Koissin V., Shipsha A., Skvortsov V., *Effect of physical nonlinearity on local buckling in sandwich beams*, Journal of Sandwich structures and materials, Vol. 12, pp. 477-494, 2010.
- [4] Magnucka-Blandzi E., Magnucki K., *Effective design of a sandwich beam with a metal foam core*, Thin-Walled Structures, Vol. 45, pp. 432-438, 2007.
- [5] Phan C.N., Bailey N.W., Kardomateas G.A. et al., *Wrinkling of sandwich wide panels/beams based on the extended high-order sandwich panel theory: formulation, comparison with elasticity and experiments*, Archives of Applied Mechanics, Vol. 82, pp. 1585-1599, 2012.
- [6] Smith B.H., Szyniszewski S., Hajjar J.F. et al., *Steel foam for structures: a review of applications, manufacturing and material properties*, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 71, pp. 1-10, 2012.
- [7] Steeves C.A., Fleck N.A., *Collapse mechanisms of sandwich beams with composite faces and a foam core, loaded in three-point bending. Part I: analytical models and minimum weight design*, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 46, pp. 561-583, 2004.
- [8] Stiftinger M.A., Rammerstorfer F.G., *Face layer wrinkling in sandwich shells – Theoretical and experimental investigations*, Thin-Walled Structures, Vol. 29, pp. 113-127, 1997.
- [9] Tonelli D., Bardella L., Minelli M., *A critical evaluation of mechanical models for sandwich beams*, Journal of Sandwich Structures and Materials, Vol. 14: pp. 629-654, 2012