

## Badania dynamiczne struktur kompozytowych z rdzeniem o właściwościach auksetycznych

Eligiusz Idczak<sup>1</sup>, Tomasz Stręk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Mechaniki Stosowanej, Politechnika Poznańska  
email: eli.idczak@gmail.com, tomasz.strek@put.poznan.pl

**STRESZCZENIE:** W niniejszej pracy poruszone zostaną dynamiczne aspekty zachowań auksetyków. Auksetyki są materiałami o ujemnej liczbie Poissona czyli zachowują się w następujący sposób: jeśli są rozciągane powiększają swoje wymiary w kierunku prostopadłym do kierunku działania siły rozciągającej, natomiast podczas ściskania wymiar w co najmniej jednym z kierunków prostopadłych do działania siły ściskającej zmniejsza się. Występowanie zjawiska auksetycznego generowane jest przede wszystkim poprzez uzyskanie odpowiedniej struktury geometrycznej zapewniającej ujemny współczynnik Poissona. Odpowiednia geometria jest następnie poddana badaniu symulacyjnemu w celu potwierdzenia ujemnego współczynnika Poissona, a także obciążeniom statycznym i dynamicznym w celu wieloaspektowego zbadania zachowania struktur auksetycznych. Elementy zbudowane z materiałów o auksetycznych geometriach często wykazują nadzwyczajne właściwości w stosunku do materiałów o dodatnim współczynniku Poissona.

**SŁOWA KLUCZOWE:** auksetyki, kompozyty, badania dynamiczne

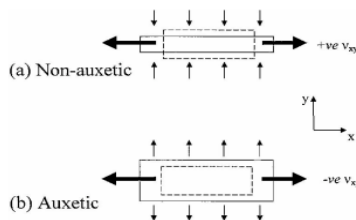
### 1. Wprowadzenie

Materiały auksetyczne posiadają ujemny współczynnik Poissona, który wyliczany jest za pomocą wzoru jako stosunek odkształcenia poprzecznego do podłużnego w osiowym stanie naprężenia:

$$\nu = \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_m} \quad (1)$$

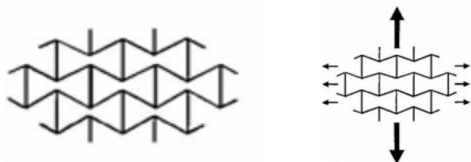
Gdzie:  $\varepsilon_n$  – odkształcenie poprzeczne,  $\varepsilon_m$  – odkształcenie w osi m, prostopadłej do kierunku n odkształcenia poprzecznego.

Na rys. 1a) oraz 1b) przedstawiono różnicę pomiędzy materiałem o ujemnym i dodatnim współczynniku Poissona.



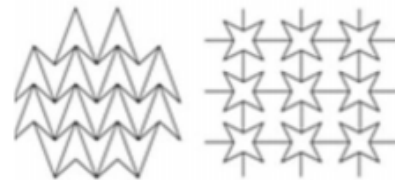
Rys. 1. a) materiał nieauksetyczny, b) materiał auksetyczny [1]

Istnieje bardzo dużo geometrii, które wykazują właściwości auksetyczne. Jedną z powszechnie znanych jest struktura plastra miodu z wklęsłym kątem (ang. re-entrant honeycomb). Na Rys. 2. Podano wygląd tej struktury oraz zachowanie podczas obciążenia.

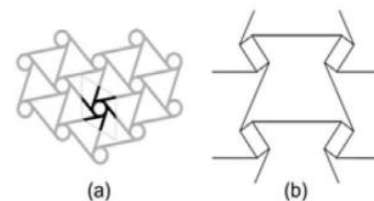


Rys. 2. Struktura zmodyfikowanego plastra miodu z kątami wklęsłymi [2]

Istnieją również struktury z trójkątami z wcięciem oraz struktury gwiazdowe (Rys. 3.), a także struktury, których elementy pod wpływem działającego obciążenia odwijają się i zawijają, tzw. chiralne (Rys. 4.).



Rys.3. Struktury strzałkowe i gwiazdowe [3]



Rys. 4. struktura chiralna w a) okręgami w węzłach, b) prostokątami w węzłach [3]

Zmultiplikowane struktury o kształtach jak w powyższych rysunkach mogą stanowić rdzeń kompozytu ograniczonego dwiema warstwami: górną i dolną.

### 2. Obliczenia numeryczne

Kompozyt o auksetycznym rdzeniu zostanie poddany harmonicznemu obciążeniu, wtedy wektor przemieszczeń można zapisać w postaci:

$$u(x, t) = u(x)e^{-i\omega t} \quad (2)$$

Następnie równanie Naviera przyjmuje postać:

$$\rho\omega^2 u - \nabla \cdot \sigma = F \quad (3)$$

lub

$$\rho\omega^2 - (\mu\nabla^2 u + (\lambda + \mu)\nabla(\nabla \cdot u)) = F \quad (4)$$

Wielkością, która opisuje dynamiczną odpowiedź kompozytu jest współczynnik utraty przewodzenia drgań

(ang. Vibration Transmission Loss) [4-9], który liczny jest za pomocą poniższego wzoru:

$$VTL = 10 \log_{10} \frac{1}{\tau_g} \quad (5)$$

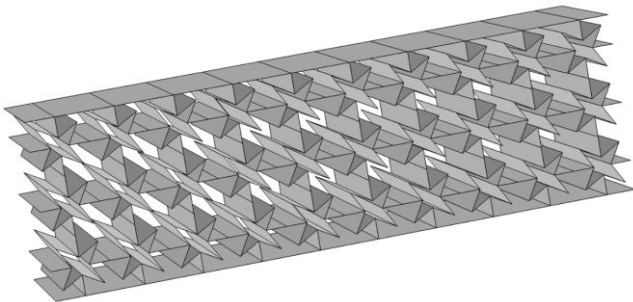
gdzie:  $\tau_g$  – współczynnik przewodzenia drgań, wyrażony z kolei za pomocą równania (6):

$$\tau_g = \frac{\int_0^{L_t} \omega^2 [u_y(x, \omega)]_t [u_y(x, \omega)]_t dx}{\int_0^{L_b} \omega^2 [u_y(x, \omega)]_b [u_y(x, \omega)]_b dx} \quad (6)$$

gdzie:  $L_t$ ,  $L_b$  – długość kompozytu,  $u$  – przemieszczenia zależne od położenia i częstości drgań,  $t$  – oznaczenie okładziny górnej,  $b$  – oznaczenie okładziny dolnej kompozytu.

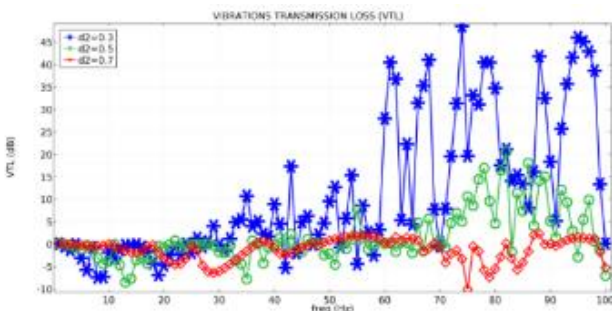
### 3. Modelowanie, symulacje i wyniki

Zamodelowano kompozyt z okładzinami dolną i górną i wewnętrzną warstwą auksetyczną. Kompozyt wykazywał właściwości auksetyczne dla pewnych tylko dla pewnych parametrów geometrycznych modelowanej pojedynczej komórki, gdzie parametr geometryczny wynosił 0.3. Rys. 5 przedstawia opisywany model kompozytu.

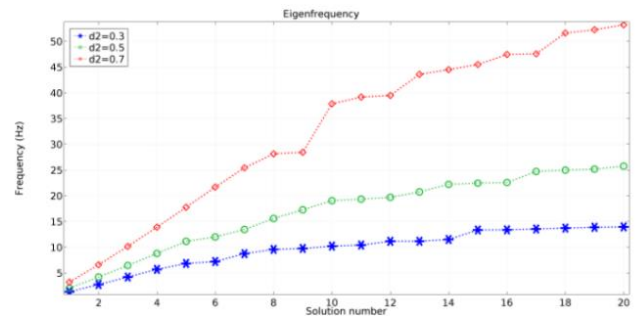


Rys. 5. Model kompozytu z auksetycznym rdzeniem

Na Rys. 6 Przedstawiono wykres współczynnika VTL w zależności od częstotliwości. Dla parametru geometrycznego  $d_2$  równego 0.3, który wykazuje auksetyczność, stwierdzono największe wartości tego współczynnika. Z kolei na Rys. 7. Widać przebieg pierwszych dwudziestu częstości własnych badanej struktury, gdzie z kolei model z auksetycznym rdzeniem wykazywał najmniejsze wartości.



Rys. 6. Współczynnik utraty przewodzenia drgań



Rys. 7. Wykres częstości własnych

### 4. Podsumowanie

W pracy zostały ukazane pewne wielkości opisujące dynamiczne zachowanie materiałów. Następnie przebadano struktury auksetyczne i nieauksetyczne pod kątem zdefiniowanych wielkości. Stwierdzono, że materiały auksetyczne wykazują lepsze właściwości izolacyjne niż materiały nieauksetyczne.

*Praca została finansowana przez granty Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego: 02/21/DSPB/3477/2016 i 02/21/DSMK/3468/2015. Symulacje zostały wykonane na Politechnice Poznańskiej.*

### Literatura

- [1] Evans, K.E. and Alderson, A. (2000), *Auxetic materials: fundamental materials and structures from lateral thinking*, Advanced Materials, 12 (9): 617-628
- [2] Liu, Y. and Hu, H. (2010), *A review on auxetic structures and polymeric materials*, Scientific Research and Essays, 5 (10): 1052-1063.
- [3] Choi, J.B. and Lakers, R.S. (1995), *Analysis of elastic modulus of conventional foams and of re-entrant foam materials with a negative Poisson's ratio*, International Journal of Mechanical Science, 37 (1): 51-59.
- [4] Lakes R.S., *Foam structures with a negative Poisson's ratio*, Science 235, pp.1038-1040, 1987.
- [5] Lim T.C., *Auxetic Materials and Structures*, Springer-Verlag, Singapur, 2015.
- [6] Grima J.N., Gatt R., Alderson A., Evans K. E., *On the potential of connected stars as auxetic systems*, Molecular Simulation 31 (13), pp.925-935 (2005).
- [7] Joshi, *Finite Element Analysis of effective mechanical properties, vibration and acoustic performance of auxetic chiral core sandwich structures*, All Theses. Paper 1723, Clemson University, Clemson, South Carolina, 2013.
- [8] T. Strek, H. Jopek, M. Nienartowicz, *Dynamic response of sandwich panels with auxetic cores*, Phys. Status Solidi B 252(7), pp.1540-155 (2015).
- [9] Idczak E., Strek T., *Vibration Transmission Loss of Auxetic Lattices*, Applied Mechanics and Materials, Vol. 797, pp. 282-289, 2015
- [10] Strek, T., Jopek, H., Idczak, E., *Computational design of two-phase auxetic structures* Phys. Status Solidi B, 253: 1387-1394, 2016 doi:10.1002/pssb.201600120