

Symulacje numeryczne elementów wykonanych w technologii druku 3D pod kątem energochłonności

Wstęp

Praca poświęcona została badaniom eksperymentalnym i numerycznym komórkowych struktur energochłonnych wykonanych z użyciem technologii druku 3D (Fused Deposition Modeling) i poddanych jednoosiowemu ścisnieniu z różnymi szybkościami odkształcenia.

W celu korelacji modelu materiałowego przeprowadzone zostały testy rozciągania wydruków z ABS z czterema prędkościami. Struktury energochłonne poddano ścisnieniu quasi-statycznemu z prędkością 1 mm/s oraz dynamicznemu z wykorzystaniem stanowiska dzielonego pręta Hopkinsona porównując otrzymane charakterystyki siła – przemieszczenie.

Wykonane zostały także symulacje numeryczne paneli balistycznych obciążonych impulsowo za pomocą ładunku wybuchowego i wypełnionych zaprojektowanymi geometriami oraz pianami aluminiową i poliuretanową.

Modelowanie konstytutywne

- Próbki do rozciągania wykonano zgodnie z normą PN-EN ISO 527-1 za pomocą technologii druku 3D.
- Przeprowadzono testy z czterema różnymi prędkościami trawersy, aby zbadać wpływ szybkości odkształcenia na zachowanie się materiału.
- W modelowaniu numerycznym zastosowano model konstytutywny pozwalający na zdefiniowanie wzmocnienia plastycznego materiału z wykorzystaniem modelu Cowpera-Symonds'a:

$$\frac{\sigma_d}{\sigma_s} = \left(1 + \frac{\dot{\epsilon}}{C}\right)^{\frac{1}{n}}$$

gdzie $\dot{\epsilon}$ jest szybkość odkształcenia określaną jako $\dot{\epsilon} = \sqrt{\dot{\epsilon}_{ij}\dot{\epsilon}_{ij}}$, σ_d – dynamiczna granica plastyczności, σ_s – statyczna granica plastyczności, C, S – współczynniki wzmocnienia Cowpera Symonds'a.

- Model konstytutywny poddano korelacji z testami eksperymentalnymi.
- Uzyskano bardzo dobrą zgodność wyników uzyskanych na drodze eksperymentalnej i numerycznej.
- Świadczy to o prawidłowo dobranych parametrach modelu materiałowego.

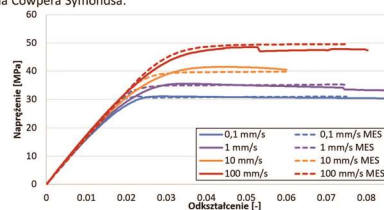
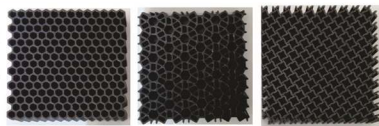


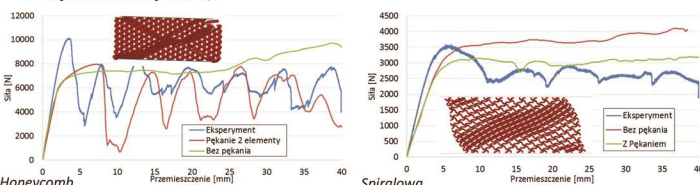
Fig. 1. Porównanie charakterystyk naprężenie - odkształcenie otrzymanych eksperymentalnie i numerycznie

Quasi-statyczne ścisnienie struktur

- Struktury wykonano z wykorzystaniem technologii druku 3D oraz przebadanego materiału ABS
- Wymiary geometryczne struktur określono na 80 x 80 x 20 mm.
- Testy jednoosiowego ścisnienia przeprowadzono dla prędkości obciążenia równej 1 mm/s



a) Honeycomb, b) zmodyfikowany Honeycomb, c) Spiralowa



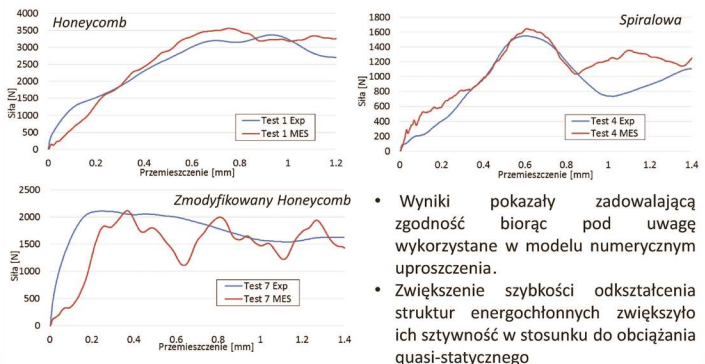
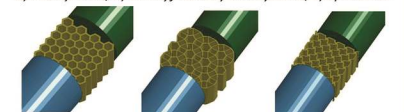
- Symulacje numeryczne ścisnienia przeprowadzono z uwzględnieniem kryterium zniszczenia i erozji elementów oraz bez jej implementacji.
- Wykorzystanie erozji przybliżyło dokładność analiz MES i pozwoliło na dość wierne odwzorowanie sposobu deformacji oraz przebiegu krzywych siła – przemieszczenie dla struktur.

Dynamiczne ścisnienie struktur

- Ze względu na ograniczenia technologiczne i warunki testów realizowanych na zmodyfikowanym pręcie Hopkinsona wymiary struktur musiały zostać zredukowane.
- W efekcie wydrukowano nowe struktury o zamkniętych obrysach komórek oraz wymiarach gabarytowych zbliżonych do 40 x 40 x 20 mm (średnica prętów to 40 mm).
- Testy na stanowisku przeprowadzono zakładając wypracowane i przetestowane wcześniej warunki początkowe.
- Przeprowadzono symulacje numeryczne odwziedlające zrealizowane testy eksperymentalne.
- Porównano charakterystyki siła – przemieszczenie



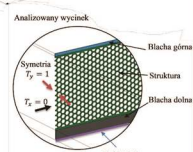
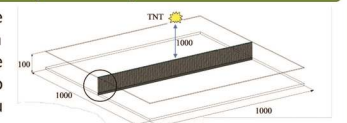
a) Honeycomb, b) zmodyfikowany Honeycomb, c) Spiralowa



- Wyniki pokazały zadowalającą zgodność biorąc pod uwagę wykorzystane w modelu numerycznym uproszczenia.
- Zwiększenie szybkości odkształcenia struktur energochłonnych zwiększyło ich sztywność w stosunku do obciążenia quasi-statycznego

Symulacje numeryczne paneli

- Przeprowadzono symulacje numeryczne paneli balistycznych, wykorzystujących zaproponowane wcześniej geometrie struktur energochłonnych jako elementy do rozpraszania energii powstałej w wyniku detonacji ładunku wybuchowego.
- Wyniki porównano z panelami wykorzystującymi pianę poliuretanową oraz aluminiową.
- Porównano wartość siły oddziaływującej na podłoże, przemieszczenie górnej blachy oraz energię względną paneli.
- Wyniki zestawiono w tabeli (zielone – najlepiej, czerwone – najgorzej).



Struktura	Siła [kN]			Przemieszczenie [mm]			Energia [kJ/kg]		
	2 kg	6 kg	8 kg	2 kg	6 kg	8 kg	2 kg	6 kg	8 kg
Honeycomb	8,39	16,7	18,1	2,5	5,01	8,42	0,084	0,88	1,36
Zmod. Honeycomb	7,82	9,02	9,3	1,02	15,7	28,67	0,091	1,34	2,69
Spiralowy	6,01	8,99	8,87	4,04	16,9	26,9	0,17	1,64	2,91
Piana Aluminiowa	1,00	4,89	8,47	24,5	61,7	67,9	0,65	4,18	6,63
Piana Poliuretanowa	8,67	23,8	46,7	69,7	76,8	76,9	1,36	3,8	4,45

Wnioski

- Najlepszymi właściwościami dyssypacji energii w warunkach obciążenia quasi-statycznego cechuje się struktura plastra miodu, a najgorszą zmodyfikowana struktura plastra miodu.
- W badaniach z wykorzystaniem pręta Hopkinsona wykazano wpływ szybkości odkształcenia na zachowanie się testowanego materiału (struktur).
- Struktury wykonane w technologii 3D mogą być stosowane do paneli balistycznych, jednak ich sztywność musi być dobrana do warunków obciążenia, aby w pełni wykorzystać ich możliwości pochłaniania energii.

Specjalność: TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII MECHANICZNEJ