

WALIDACJA PIAN NIEMETALICZNYCH W ZŁOŻONYM STANIE ODKSZTAŁCENIA

Wiesław BARNAT*, Paweł DZIEWULSKI*, Tadeusz NIEZGODA*

*Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wydział Mechaniczny,
Wojskowa Akademia Techniczna, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

wbarnat@tlen.pl, pdziewulski@wat.edu.pl, tniezgoda@wat.edu.pl

Streszczenie: W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań energochłonności piany niemetalicznej obciążonej przemieszczeniem. Głównym celem pracy była walidacja modelu numerycznego spienionego polichloru winylu wraz z oceną zdolności pochłaniania energii przez podstawowy element konstrukcji energochłonnej obciążonej dynamicznie. Elementy energochłonne przebadano w KMiIS. Badania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej Instron. Obciążenie realizowano przez wymuszenie kinematyczne.

1. WSTĘP

Współczesne konstrukcje energochłonne mają szerokie zastosowanie do ochrony życia osób przebywających w obiektach o szczególny znaczeniu. Najbardziej rozpowszechnione – lekkie elementy energochłonne występują w konstrukcjach, dla których najistotniejszym jest uzyskanie masowego warunku wytrzymałościowego np. lotniczych.

Głównym zadaniem elementów absorbujących energię udaru jest ochrona życia i zdrowia ludzi lub ograniczenie zniszczenia całej konstrukcji w przypadku np. katastrofy śmigłowców, samochodów, wybuchu min-pułapek, improwizowanych ładunków wybuchowych itp.

W wielu publikacjach niektórzy autorzy rozpatrują to zagadnienie w aspekcie lokalnej utraty mikro stateczności i wynikającego stąd progresywnego zniszczenia (Bazle i inni, 2000; Gama i Ramamurty, 2003). Elementy pianowe posiadają dużą względną energię absorpcji (Barnat i Niezgoda, 2007) i mogą wspomóc proces propagacji niszczenia kompozytowych elementów energochłonnych. Podczas procesu rozproszenia energii udaru istotnym jest utrzymanie progresywnego (stałego) sposobu zniszczenia kompozytowego elementu energochłonnego a zwłaszcza z zastosowanym elementem pianowym.

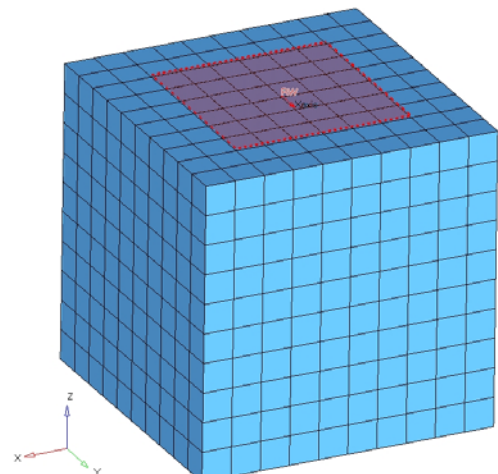
Postępujące w miarę równomiernie niszczenie sprawia, że praca zużyta na zniszczenie elementu energochłonnego powoduje znaczne ograniczenie skutków obciążenia udarowego konstrukcji. Pożądane jest zastosowanie konstrukcji energochłonnych w transporcie drogowym (Niezgoda i Barnat, 2006) i lotniczym. Innym zadaniem układu elementów energochłonnych może być rozpatrywanie ich jako układu rozpraszającego energię udaru ładunku wybuchowego na konstrukcję pojazdu militarnego szczególnie narażonego na wybuch prowizorycznych ładunków wybuchowych (Bielenberg i Reid, 2004).

Celem niniejszej pracy było przebadanie jednego z podstawowych rodzajów pianek niemetalicznych w aspekcie energochłonności. Wyniki eksperymentalne posłużyły

do walidacji modeli konstytutywnych pian wykorzystywanych w panelach ochronnych.

2. OPIS BADANYCH PRÓBEK

W artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych piany budowlanej powszechnie stosowanej na rynku – firmy Kauffman. Model numeryczny badanej pianki przedstawiono na Rys 1

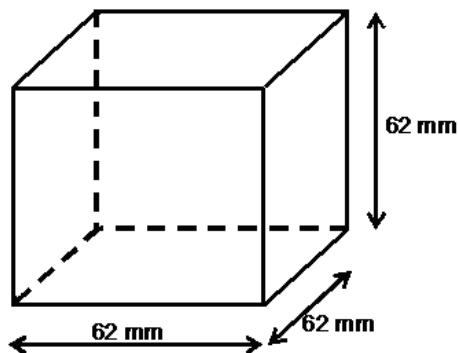


Rys. 1. Badana próbka spienionego polichloru winylu – model MES

Badaną pianę pocięto na próbki o jednakowym kształcie prostokątnym pokazanym na Rys. 2, o wymiarach 62 x 62 x 62 mm.

Próbki były poddane ścisaniu z prędkością 5m/s do uzyskania przemieszczenia 75%.

Ponadto w celu uzyskania pełnych charakterystyk pian dokonano eksperyment wyjaśniający wpływ złożonego stanu odkształcenia (ściskanie z równoczesnym ścinaniem) na dobór modelu konstytutywnego piany niemetalicznej. W takim przypadku piany była ścisana pod kątem 19°.



Rys. 2. Kształt i wymiary geometryczne badanej próbki

W badaniach numerycznych i doświadczalnych przyjęto dwa obiekty badań:

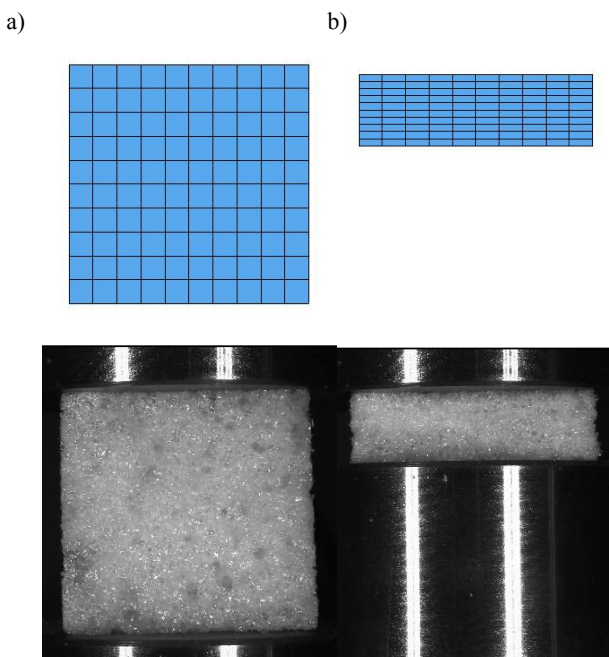
- Obiekt 1 – ściskany osiowo;
- Obiekt 2 ściskanie pod kątem.

Pianę zamodelowano w oprogramowaniu LS Dyna, wykorzystując konstytutywny model materiału MAT_Honey-comb. Podczas modelowania piany, istotnym jest prawidłowe zadeklarowanie takich danych materiałowych, jak: gęstość, moduł Younga, stała Poissona.

3. WYNIKI BADAŃ DLA PIERWSZEGO OBIEKTU BADAŃ

Jak już wspomniano, obiekt, poddano osiowemu ściskaniu, na maszynie wytrzymałościowej typu Instron.

Porównanie sposobu deformacji uzyskanej w sposób numeryczny i doświadczalny obiektu pierwszego, przedstawiono na Rys. 3.



Rys. 3. Sposób deformacji próbki ściskanej osiowo. Porównanie wyników MES z eksperymentem: a) początkowa deformacja obiektu 2, b) końcowa deformacja

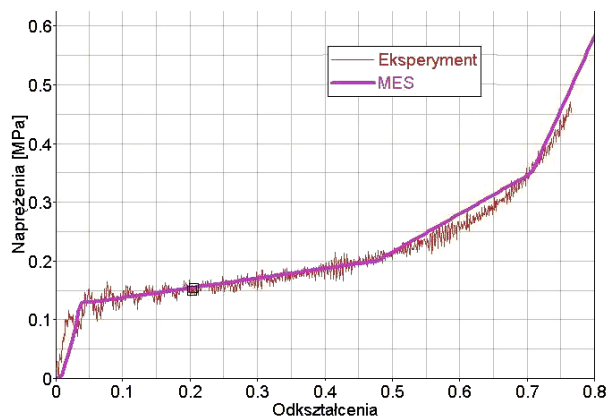
W celu dokładnego zapoznania się z charakterem niszczenia materiałów porowatych oraz oceną prawidłowości otrzymanych wyników doświadczalnych, dokonano kilku prób ściskania obiektu pierwszego.

Typowy charakter niszczenia, dla spienionego polichloroku winylu, przedstawiono na Rys. 3. Wykres siły ściskającej dla obiektu 1 przedstawiono na Rys. 4.

W początkowym okresie obciążenia próbka deformowała się w sprężystym zakresie. Zakres ten charakteryzuje się lokalnym zniszczeniem ścianek próbek.

Kolejnym etapem w procesie niszczenia próbki było zamykanie się porów. Charakterystycznym dla tego etapu, jest występowanie zwiększającej się siły ściskającej, inaczej niż w przypadku spienionego aluminium (Włodarczyk i inni, 2007).

W końcowym okresie obciążenia próba przebiegała poprzez ściskanie niemalże litego materiału, charakteryzującym się wzrostem siły obciążenia – końcowy przebieg wykresu na Rys. 4.



Rys. 4. Porównanie wykresów ściskania osiowego spienionego polichloroku winylu uzyskanych w wyniku eksperymentu i analizy MES

Po odciążeniu (w przeciwieństwie do spienionego aluminium, którego wyniki badań zostały przedstawione we wcześniejszych pracach (Włodarczyk i inni, 2007)) wystąpił sprężysty powrót ściskanego materiału do poprzedniej postaci.

Porównanie wykresów naprężeń ściskających i odkształceń, dla rzeczywistego obiektu i modelu numerycznego, przedstawiono na Rys. 5.

W wyniku odpowiedniego doboru parametrów modelu konstytutywnego materiału, uzyskano zadowalającą zgodność wyników.

Na podstawie uzyskanych rezultatów stwierdzono iż na obiekt 1 działała średnia siła normalna o wartości 0.775 kN. W wyniku procesu ściskania osiowego, obiekt 1 pochłonął energię równą 36 J, co przy masie badanego obiektu – 8.5 g odpowiada WEA, równej 4.23 kJ/kg.

4. WYNIKI BADAŃ DLA DRUGIEGO OBIEKTU BADAŃ

W tym punkcie artykułu przedstawiono wyniki badań nad złożonym stanem odkształcenia, podstawowego ele-

mentu pianowego. Ze względu na to, iż model piany, będzie wykorzystywany w elementach energochłonnych, które nie tylko będą osiowo ściskane, przeprowadzono walidację modeli numerycznych dla jednoczesnego ściskania ze ścinaniem.

W tym przypadku, blok piany został ściśnięty płytami pod kątem 20°. Porównanie form deformacji uzyskanych badań eksperymentalnych i doświadczalnych przedstawia Rys. 9.

W celu dokładnego zapoznania się z charakterem niszczenia materiałów porowatych, podobnie jak dla obiektu 1, dokonano kilku prób ściskania obiektu drugiego.

Typowy charakter złożonego stanu deformacji dla spienionego polichlorku winylu przedstawiono na Rys. 5.

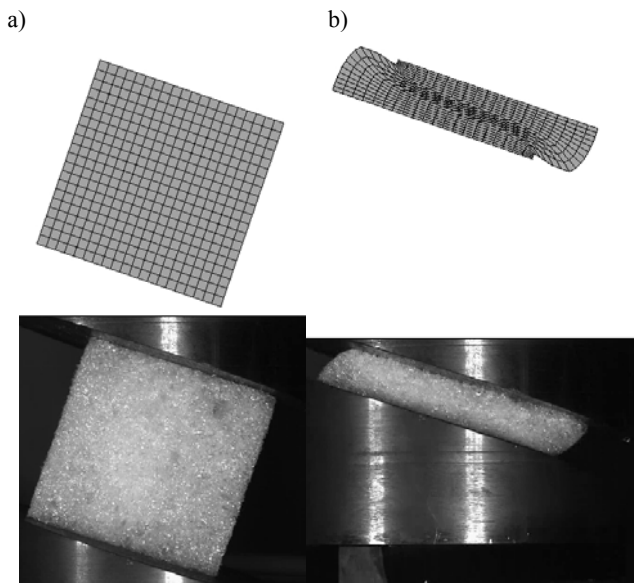
Wykres siły ściskająco – ścinającej, dla obiektu 1, przedstawiono na Rys. 6.

W początkowym okresie obciążenia próbka była ściskana i ścinana w sprężystym zakresie. Ze względu na złożony charakter stanu deformacji w badanym obiekcie, zdecydowano przedstawić wyniki w zależności siła - przemieszczenie.

Porównując wykresy siła-przemieszczenie dla poprzedniego obiektu badań stwierdzono, iż ścinanie nie wpływa pogarszająco na otrzymane wyniki.

W pierwszym etapie eksperymentu obiekt 2 odkształcał się w zakresie sprężystym.

W kolejnym etapie eksperymentu, proces niszczenia próbki polegał na zamykaniu się porów. Charakterystycznym dla tego etapu jest występowanie zwiększającej się siły ściskającej inaczej niż w przypadku spienionego aluminium (Włodarczyk i inni, 2007).

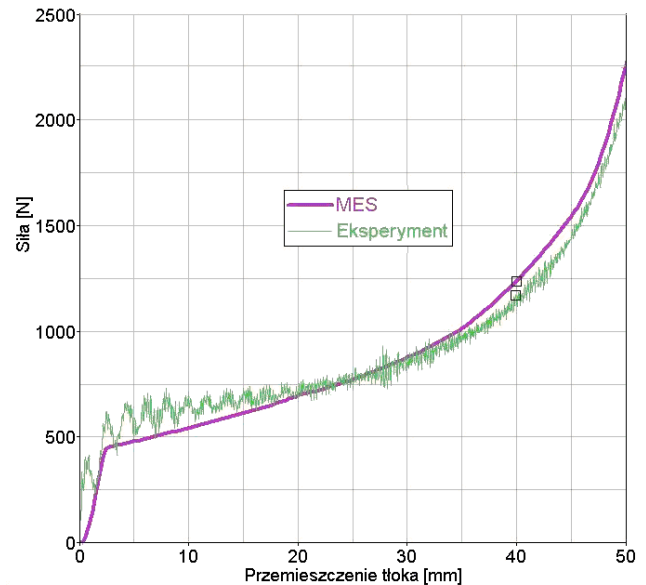


Rys. 5. Sposób deformacji próbki ściskanej w złożonym stanie odkształcenia. Porównanie wyników MES z eksperymentem. a) początkowa deformacja obiektu 2, b) końcowa deformacja obiektu 2.

W końcowym okresie obciążenia, próba przebiegała poprzez ściskanie litego materiału, charakteryzującym się wzrostem siły obciążenia – końcowy przebieg wykresu – Rys. 5.

Podobnie jak dla obiektu 1, po odciążeniu (w przeciwieństwie do spienionego aluminium) wystąpił sprężysty powrót badanej próbki materiału do poprzedniej postaci.

Porównanie wykresu zależności siły i odkształcenia dla rzeczywistego obiektu i modelu numerycznego przedstawiono na Rys. 6. W wyniku odpowiedniego doboru parametrów modelu konstytutywnego uzyskano zadowalającą zgodność wyników badań numerycznych z eksperymentalnymi.



Rys. 6. Wykres zbiorczy wyników eksperymentu

W wyniku oceny uzyskanych rezultatów stwierdzono, iż na obiekt 2 działała średnia siła 0.83 kN. Obiekt 2 pochłonął energię równą 38 J co przy masie badanego obiektu 8.5 g, odpowiada WEA, równej 4.47 kJ/kg. Wyniki uzyskane w sposób numeryczny są zgodne z wynikami otrzymanymi z badań eksperymentalnych. Dość zaskakująco dobre wyniki uzyskano dla złożonego stanu deformacji. Oznacza to, iż powinno się dążyć do takiego wykorzystywania pianowych elementów ochronnych.

5. ZAKOŃCZENIE

W mniejszym artykule przedstawiono podstawowe badania numeryczne nad doбором konstytutywnego modelu materiału wykorzystywanego w dynamiczne i analizie explicite, przez oprogramowanie LS Dyna.

Prowadzone, podstawowe prace, mają charakter poznawczy z ukierunkowaniem weryfikacji możliwości wykorzystywanego oprogramowania.

Za obiekt badań przyjęto klocek wykonany ze spienionego polichlorku winylu. W pracach skupiono się nad doбором globalnego modelu materiału, bez uwzględnienia wszelkiego rodzaju mikro zjawisk, występujących w materiałach porowatych. Badania lokalnych efektów zniszczenia tworzyw spienionych (utrata stateczności ścianek, mikro pęknięcia itp.) będą tematem dalszych prac.

Ze względu na dość skąpe dane materiałowe dotyczące badanego obiektu, konieczna była weryfikacja eksperymentalna badanego obiektu.

Wszystkie prace badawcze, zostały wykonane w Katedrze Mechaniki i Informatyki Stosowanej Wojskowej Akademii

Technicznej w Warszawie, na maszynie wytrzymałościowej Instron.

Na podstawie otrzymanych wyników wyznaczono energię odkształcenia dla każdego z badanych obiektów.

W wyniku oceny uzyskanych rezultatów stwierdzono, iż na obiekt 1 działała średnia siła normalna o wartości 0.775 kN. Obiekt 1 pochłonął energię równą 36 J, co przy masie badanego obiektu 8.5 g odpowiada WEA równej 4.23 kJ/kg.

W wyniku oceny uzyskanych rezultatów stwierdzono, iż na obiekt 2 działała średnia siła, która jest większa niż dla obiektu 1, o 6.62 %. W wyniku złożonego stanu odkształcenia obiekt 2 pochłonął również większą, o 5.25%, energię absorpcji, równą 38 J.

Na podstawie wstępnej oceny uzyskanych wyników można stwierdzić iż celowym jest takie stosowanie pianowych elementów energochłonnych które byłyby poddawane złożonemu stanowi odkształcenia.

W dalszych pracach planowane jest ponadto badanie wpływu porowatości na energię absorpcji. Uzyskanie optymalnej struktury porowatej pozwoli na otrzymanie maksymalnej energii absorpcji. Zaowocuje to zwiększeniem bezpieczeństwa chronionych obiektów.

LITERATURA

1. **Barnat W., Niezgoda T.** (2007), Badania energochłonności elementów podatnych w aspekcie zastosowanych materiałów, *Journal of Kones Powertrain and Transport*, Vol. 14. No 1.
2. **Bielenberg I., Reid J.** (2004), Modeling Crushable Foam for the SAFER Racetrack Barrier, *8 Międzynarodowa Konferencja Użytkowników LS-Dyna*.
3. **Firstov S. A., Podrezov Y. N., Lugovoi N. I., Slyunyaev V. N., Verbilo D. G.** (2001), Effect of the pore space structure on deformation energy absorption during compression of high-porosity composites, I, *Low Hardening Stage Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, Vol. 39, 7-8.
4. **Gama B. A., Bogetti T. A., Fink B. K., Claar Ch-J. T. D., Eifert H. H., Gillespie Jr. J. W.** (2000), Aluminium foam integral armor: a new dimension, *Armor Design Composite Structures*, Vol. 52, 3-4, 381-395.
5. **Kumar P. S., Ramamurty U.** (2003), Effect of displacement-rate on the indentation behavior of an aluminium foam, *Materials Science and Engineering A347*, 330-337.
6. **Niezgoda T., Barnat W.** (2006), Analiza pasa bariery drogowej wzmocnionej elementami kompozytowymi w zastosowaniu do poprawy energochłonności elementów infrastruktury, *Górnictwo Odkrywkowe*, 5-6, 25-29.
7. **Włodarczyk J., Niezgoda T., Barnat W., Gieleta R., Dziewulski P.** (2007), Badania eksperymentalne energochłonności pian metalicznych, *IV Międzynarodowe Sympozjum Mechaniki Zniszczenia Materiałów i Konstrukcji*, Augustów.

THE VALIDATIONS OF CONSTITUTIVE MODELS FOR NON METALLIC FOAM UNDER COMPLEX STRAIN STATE

Abstract: In the present article, the results of investigations of energy absorption foam structures weighted down were presented. The main objective of this study was the validations of constitutive models for non metallic foam. Investigations were conducted on Dynamic Testing System INSTRON in KMiIS. The load was applied by input function kinematic.