

DOŚWIADCZALNE BADANIE WPLYWU GEOMETRII WYPEŁNIENIA W ASPEKCIE ENERGII ZNISZCZENIA TULEJEK KOMPOZYTOWYCH

Wiesław BARNAT*, Tadeusz NIEZGODA*

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

wbarnat@tlen.pl, t.niezgoda@wme.wat.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono ocenę zastosowanego wypełnienia na zdolność pochłaniania energii przez kompozytowy element konstrukcji cienkościennej obciążonej dynamicznie. Elementy energochłonne wykonano w KMiiS. Badania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej Instron. Badaniom poddano elementy energochłonne w postaci tulejek z dodatkowym wypełnieniem pianowym. Obciążenie realizowano poprzez osiowe wymuszenie kinematyczne.

1. WSTĘP

Elementy energochłonne mają zastosowanie w konstrukcjach, których zadaniem jest ochrona ludzi lub ograniczenie zniszczenia całej konstrukcji pod wpływem obciążenia impulsowego. W wielu publikacjach niektórzy autorzy rozpatrują to zagadnienie w aspekcie lokalnej utraty stateczności i wynikającego stąd progresywnego zniszczenia (Timoszenko, 1972; Dacko i Barnat, 2004). Energochłonne elementy kompozytowe charakteryzują się tym, iż postępujące w miarę równomiernie zniszczenie sprawia, że praca zużyta na zniszczenie elementu energochłonnego powoduje znaczne ograniczenie skutków obciążenia udarowego konstrukcji np. uderzenia śmigłowca o ziemię. Największa względna energie absorpcji (odniesiona do jednostki masy) posiadają kompozytowe elementy energochłonne (Barnat i Niezgoda, 2007).

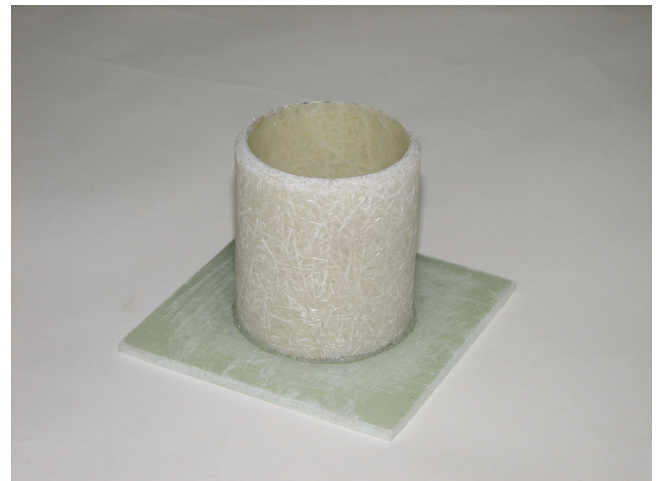
Celem niniejszego artykułu było porównanie wpływu zastosowanego elementu wypełnienia na energię pochłoniętą przez podstawowy element energochłonny w postaci tulejki kompozytowej z różnymi wariantami wypełnienia. Kompozytowe elementy walcowe charakteryzują się większą siłą spęczania inicjującą procesy zniszczenia niż elementy o innej geometrii (np. stożki) (Niezgoda i inni, 2007). Otrzymane wyniki badań eksperymentalnych posłużą do walidacji modeli numerycznych warstw ochronnych.

2. OPIS BADANYCH OBIEKTÓW

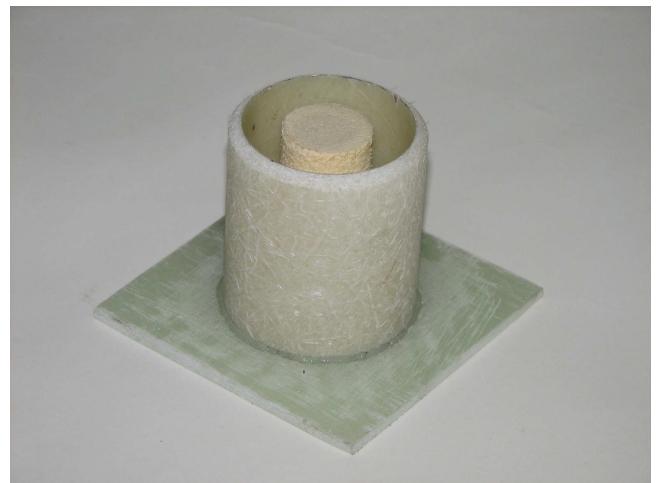
W pracy przedstawiono wybrane wyniki z badań doświadczalnych trzech obiektów energochłonnych, przedstawionych na rys 1 – 3.

Obiekt 1 – (przedstawiony na Rys. 1) – tulejka wykonana z maty szklanej epoksyd o następujących wybranych własnościach: $E_{11}=1,85 \cdot 10^{10}$ Pa, $\nu_{12}=0,158$, $G_{1,2}=3,48 \cdot 10^9$ Pa. Tulejka kompozytowa charakteryzowała się następującymi parametrami geometrycznymi: średnicą wewnętrzną 40mm i wysokością 50mm i grubością ścianki 3mm.

Obiekt 2 – (przedstawiony na Rys. 2) – tulejka kompozytowa z wypełnieniem z polichloru winylu o średnicy 30mm.



Rys. 1. Obiekt 1 - tulejka kompozytowa

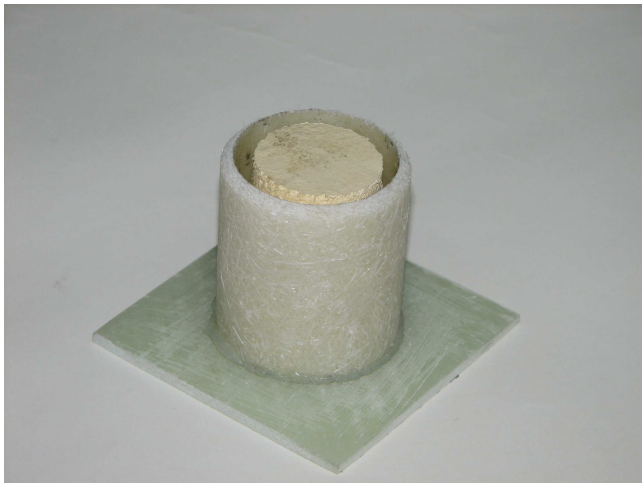


Rys. 2. Obiekt 2 – tulejka kompozytowa z wypełnieniem pianowym o średnicy 20 mm

Obiekt 3 – (przedstawiony na Rys. 3) – tulejka kompozytowa z wypełnieniem z polichlorku winylu o średnicy 20mm.

Ze względu na celowość uzyskania progresywnego sposobu zniszczenia przez badane obiekty (charakteryzującego się stałą siłą niszczącą – spęcznia) wszystkie tulejki posiadały inicjatory zniszczenia w postaci fazy.

Obciążenie obiektów w eksperymencie realizowano kinematycznie na maszynie wytrzymałościowej Instron z prędkością przesuwania górnych szczek 0,01 m/s.



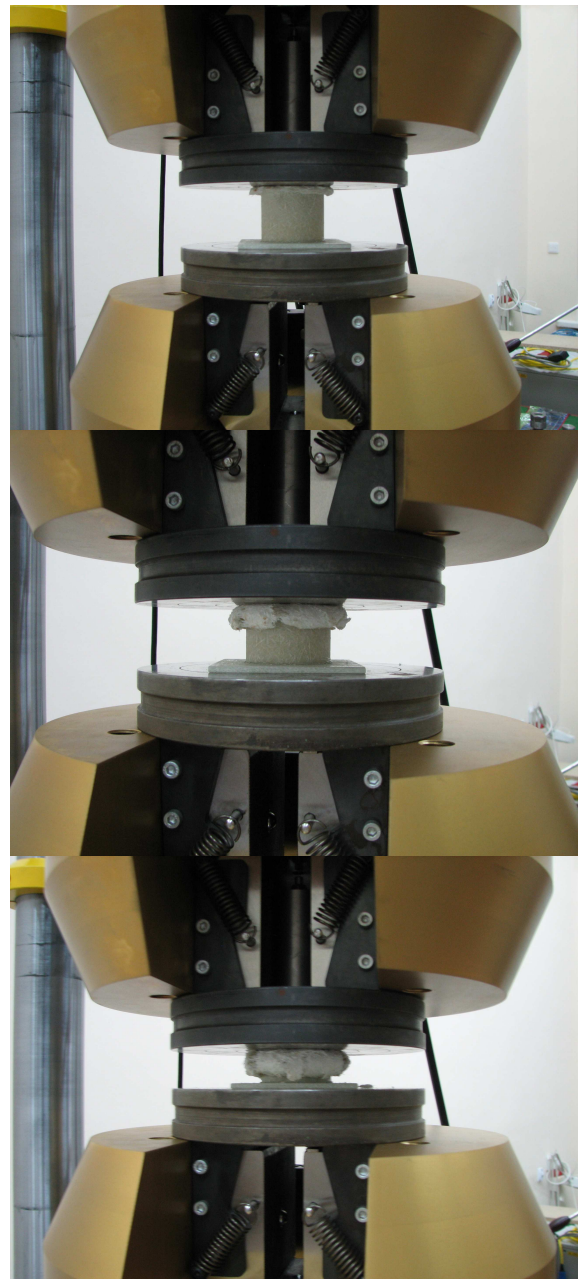
Rys. 3. Obiekt 3 – tulejka kompozytowa z wypełnieniem pianowym o średnicy 30mm

Przedstawione wyniki badań posłużą do walidacji modeli numerycznych i pozwolą na odpowiedź na pytanie jak wpływa niepełne wypełnienie elementu kompozytowego (spienionym polichlorkiem winylu) na energochłonność nadanego układu.

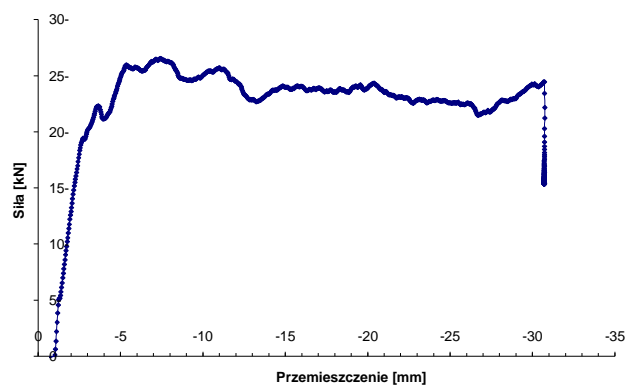
3. WYNIKI BADAŃ DLA OBIEKTU 1 – TULEJKA KOMPOZYTOWA

Jak już wspomniano badania doświadczalne obiektów przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej INSTRON. Zastosowanie inicjatora zniszczenia pozwoliło na uzyskanie progresywnego sposobu niszczenia przedstawionego na Rys.4 (podobnie jak w poprzednich pracach badawczych). Przedstawione progresywne niszczenia ma charakter stały i pozwala na uzyskanie maksymalnej pracy niszczącej (dla elementu kompozytowego).

W wyniku eksperymentu oszacowano całkowitą średnią siłę spęcznienia dla obiektu 1 która wniósła 21,9 kN. Wykres siły niszczącej od przemieszczenia pokazano na rys 5. Skala pionowa wykresu opisuje wielkość reakcji pionowej (kN), a skala pozioma pokazuje przemieszczenie w mm. Analizując ten wykres można zauważyć bardzo dużą sztywność badanego obiektu w początkowym liniowo-sprężystym. Następnie niszczenie badanego obiektu odbywało się ze stałą siłą. W wyniku ściskania tulejki o wysokości 50 mm otrzymano energię absorpcji wynoszącą 1095 J.



Rys. 4. Obiekt 1 – badania eksperymentalne – sposób niszczenia tulejki kompozytowej



Rys. 5. Obiekt 1 – Wykres przyrostu wartości reakcji pionowej uzyskanej eksperymentalnie

4. WYNIKI BADAŃ DLA OBIEKTU 2 – TULEJKA KOMPOZYTOWA Z WYPEŁNIENIEM Ø 20mm

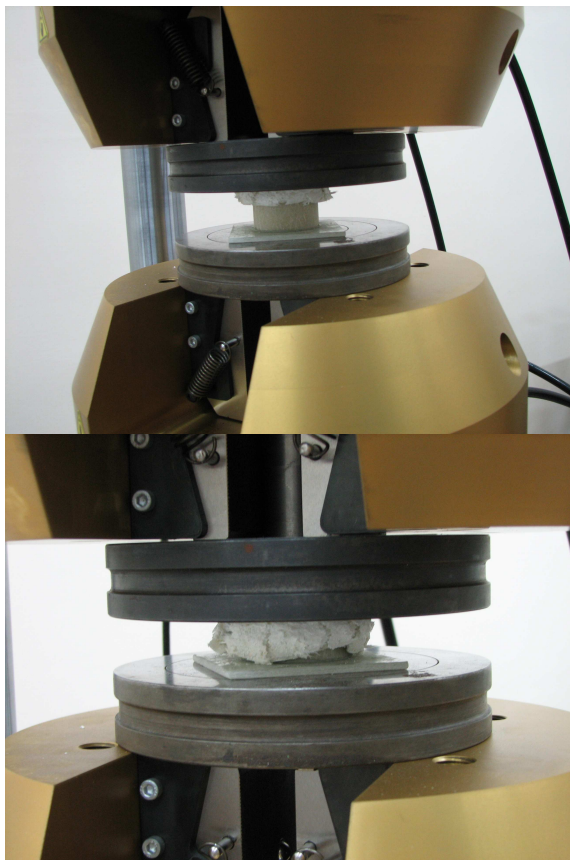
Podobnie jak dla obiektu 1 badania doświadczalne przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej INSTRON. Pomimo zastosowania wypełniacza uzyskano progresywny sposób niszczenia badanego obiektu, przedstawiony na Rys. 6. Taki efekt jest wynikiem zastosowania ścianek tulejki kompozytowej o grubości ścianki 3mm oraz nie pełnego wypełnienia przestrzeni wewnątrz tulejki wypełniaczem. Przedstawione progresywne niszczenia ma charakter stały i pozwala na uzyskanie maksymalnej pracy niszczącej (elementu kompozytowego).

Analogicznie jak w obiekcie 1 zniszczone warstwy kompozytu wywijały się do środka (pomimo zastosowanego wypełnienia) i się na zewnątrz.

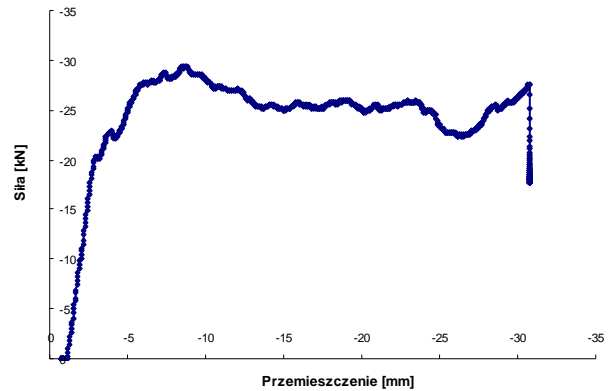
Wykres siły niszczącej (przedstawiony na Rys. 7) można podzielić na dwie części. W pierwszej części odkształcenie obiektu ma charakter sprężysty (wzrost siły), a w drugiej części następuje progresywne niszczenie (ze stałą siłą).

Zastosowanie wypełniacza w postaci walca wykonanego ze spienionego polichlorku winylu (o średnicy 20mm) nieznacznie zwiększyło średnią siłę spęczania o 9,2% (w porównaniu z obiektem 1) która wynosiła 24,13 kN W wyniku badań eksperymentalnych uzyskano wykres siły niszczącej od przemieszczenia pokazano na Rys 7.

W wyniku eksperymenty oszacowano energię absorpcji dla obiektu 2 która wniosła EA=1206,5 J.



Rys. 6. Obiekt 2 – badania eksperymentalne – sposób niszczenia tulejki kompozytowej

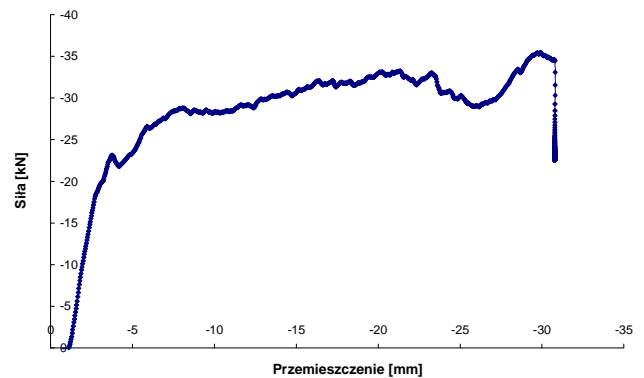


Rys. 7. Obiekt 2 – wykres przyrostu wartości reakcji pionowej uzyskanej eksperymentalnie

5. WYNIKI BADAŃ DLA OBIEKTU 3 – TULEJKA KOMPOZYTOWA Z WYPEŁNIENIEM Ø 30mm

Uzyskane wyniki badań doświadczalnych dla obiektu 3 były podobne jak dla poprzednich przypadków.

Pomimo zastosowania wypełniacza uzyskano progresywny sposób niszczenia badanego obiektu 3.



Rys. 8. Obiekt 3 - wykres przyrostu wartości reakcji pionowej uzyskanej eksperymentalnie parametrów wypełnienia

Tab. 1. Zestawienie wyników eksperymentalnych

Lp.	Struktura	Pśr [kN]	Wysokość [mm]	EA [J]
1.	rurka	21,9	50	1095
2.	rurka z wypełniaczem Ø 20mm	24,13	50	1206,5
3.	rurka z wypełniaczem Ø 30mm	27,3	50	1365

Progresywne niszczenie badanego obiektu ma charakter stały i pozwala na uzyskanie maksymalnej pracy niszczącej elementu kompozytowego z niepełnym wypełnieniem pianowym.

Podobnie jak w poprzednich obiektach zniszczone warstwy kompozytu wywijały się do środka (pomimo zastosowanego wypełnienia) i się na zewnątrz.

Zastosowanie wypełniacza w postaci walca wykonanego ze spienionego polichlorku winylu (o średnicy 30mm) zwiększyło średnią siłę spęczania o 19,7% (w porównaniu z obiektem 1), która wynosiła 27,3 kN. W wyniku badań eksperymentalnych uzyskano wykres siły niszczącej od przemieszczenia, pokazany na Rys 8.

W wyniku eksperymentu oszacowano energię absorpcji dla obiektu 3, większa niż w poprzednich przypadkach, która wniosła $E_A=1365$ J.

6. ZAKOŃCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych trzech obiektów energochłonnych. Badania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej typu Instron w Katedrze Mechaniki i Informatyki Stosowanej Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie.

Kompozytowe elementy walcowe charakteryzują się większą względną energią absorpcji niż inne (Barnat i Niezgoda, 2007) elementy.

Ogólnie względna siła spęczania i energia dla konstrukcji kompozytowych jest większa niż dla konstrukcji stalowych. W badaniach zastosowano elementy kompozytowe z inicjatorem którego brak powoduje katastroficzny model zniszczenia. Zjawisko to w aspekcie energochłonności jest niepożądane. Zastosowanie wypełniacza w postaci piany spowodowało zwiększenie energii absorpcji.

Przedstawione wyniki badań będą miały zastosowanie w kompozytowych panelach ochronnych których dużą zaletą jest ich mała masa. W przypadku rozpatrywania zastosowaniowa elementów ochronnych dla przemysłu lotniczego, oraz pojazdów wojskowych, które niejednokrotnie muszą spełniać masowy warunek wytrzymałościowy celem utrzymania pływalności oraz możliwości strategicznego transportu lotniczego - ma to niemałe znaczenie. Przedstawione wyniki są wstępnymi próbami doboru geometrii wypełniacza elementu energochłonnego i posłużą do walidacji modeli numerycznych.

Na podstawie wstępnej oceny uzyskanych wyników oraz dotychczas wykonywanych badań stwierdzono, iż odpowiednie dobranie materiału wypełniacza pozwoli na uzyskanie większej energii, potrzebnej do zniszczenia badanej konstrukcji energochłonnej. Przyszłe zastosowanie analizy numerycznej usprawni proces zadania optymalizacji w aspekcie uzyskania dużej energochłonności.

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. **Dacko M., Barnat W.** (2004), Stany Graniczne Cienkich Powłok Osiowo-Symetrycznych SYSTEM, *Journal of Transdisciplinary Systems Science3*, Vol 9.
3. **Nagel G., Thambiratnam D.** (2003), Use of thin-walled frusta energy absorbers in protection of structures under impact loading, *Design and Analysis of Protective Structures against impact/Impulsive/Shock Loads*, Queensland.
4. **Niezgoda T., Barnat W., Ochelski S.** (2007), Numeryczno doświadczalne badanie procesu niszczenia wybranych struktur kompozytowych, *X Jubileuszowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Programy MES we Wspomaganiu Analizy, Projektowania i Wytwarzania, 13–16 listopada 2007*, Kazimierz Dolny.
5. **Timoszenko S. P.** (1972), *Teoria stateczności sprężystej*, Arkady, Warszawa.
6. **Zhong Z. H.** (1993), *Finite element procedures for contact-impact problems*, Oxford University Press.

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF INFLUENCE OF KIND GEOMETRY OF FULLFILMENT BASIC COMPOSITE STRUCTURES ON ENERGY THE DESTRUCTION

Abstract: The opinion of applied fullfilment is on ability the aim of the absorption through composite unit of thin-walled construction the energy weighted down dynamically. Energy-consuming units were executed in KMiIS. It investigations were conducted was on stamina machine engine Intron. The investigations were subjected in figure of muffs the energy-consuming units from additional foam fullfilment. Weight was realized by axial input function kinematic.