

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Numeryczna analiza wpływu inicjatora przegubu plastycznego na pracę absorbera rurowego poduszki zderzeniowej

Piotr Kędzierski¹, Kamil Krasnodębski², Michał Stankiewicz³, Arkadiusz Popławski¹

¹Zakład Wytrzymałości Materiałów i Badań Eksperymentalnych, Wojskowa Akademia Techniczna

²Faurecia Grójec R&D Center S.A.

³Zakład Inżynierii Obliczeniowej i Biomedycznej, Wojskowa Akademia Techniczna

email: kędzierski.piotr@wat.edu.pl, kamil.krasnodębski@forvia.com, michał.stankiewicz@wat.edu.pl, arkadiusz.popławski@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: W pracy przedstawiono analizę mechanicznej odpowiedzi absorbera rurowego posiadającego inicjator przegubu plastycznego podczas zginania wspornikowego. Analiza została poprzedzona modelowaniem i symulacją zginania absorberów różniących się geometrią i położeniem inicjatora przegubu plastycznego. Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, że zastosowanie przetłoczenia na tylnej ścianie absorbera obniża wartość maksymalnej siły, zwiększa energochłonność oraz opóźnia lub zapobiega zniszczeniu absorbera od strony włókien rozciąganych. Kluczowym parametrem wpływającym na moment zniszczenia absorbera jest położenie inicjatora, przy czym wyżej położony inicjator opóźnia lub zapobiega jego zniszczeniu.

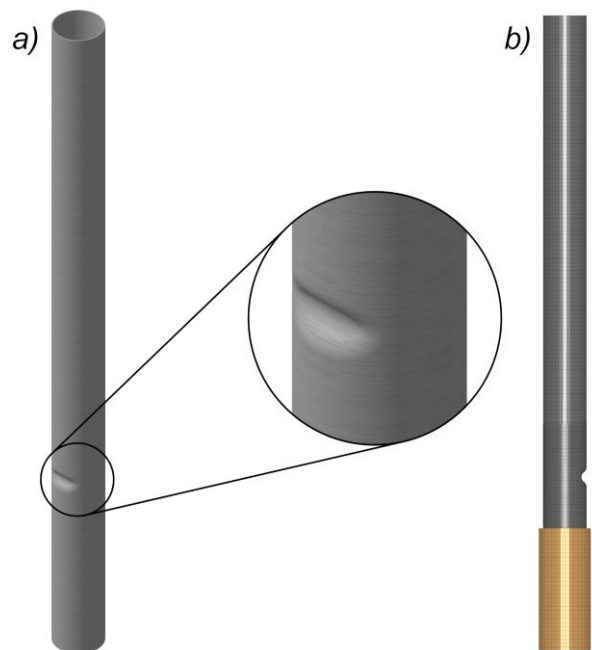
SŁOWA KLUCZOWE: zginanie wspornikowe, przegub plastyczny, poduszka zderzeniowa, stal S355, MES

1. Wprowadzenie

Poduszka zderzeniowa to punktowe urządzenie bezpieczeństwa ruchu drogowego pochłaniające energię, które jest montowane przed niepodatnymi przeszkodami w celu ograniczenia intensywności zderzenia. Podstawowymi elementami poduszek zderzeniowych są absorbery energii najczęściej w postaci rur, poduszek powietrznych, struktur plastra miodu lub perforowanych płaskowników. Wspólną cechą aktualnie używanych poduszek zderzeniowych jest pochłanianie energii pojazdu na skutek ściskania, zgniatania lub rozcinania absorbera w kierunku równoległym do podłużnej osi poduszki. Alternatywnym sposobem dyssypacji energii kinetycznej pojazdu jest zginanie wspornikowe absorbera rurowego zorientowanego pionowo.

Zagadnienie zginania rur jest szczególnie istotne w projektowaniu rurociągów transportujących węglowodory w postaci gazu ziemnego oraz ropy naftowej. W literaturze można odnaleźć wiele prac [1-5], których celem było określenie w sposób eksperymentalny, analityczny lub numeryczny warunków utraty stateczności rur zginanych. Istotniejsze z perspektywy tematyki pracy są publikacje [6-9] poświęcone wyobczeniu rur zginanych z lokalnym wgnieceniem.

W pracy przedstawiono analizę mechanicznej odpowiedzi absorbera rurowego posiadającego inicjator przegubu plastycznego podczas zginania wspornikowego. Podstawą analizy są wyniki symulacji komputerowych. Końcowym rezultatem opracowania jest określenie wpływu położenia i cech geometrycznych inicjatora przegubu plastycznego na energochłonność, maksymalną siłę i proces niszczenia absorbera rurowego.



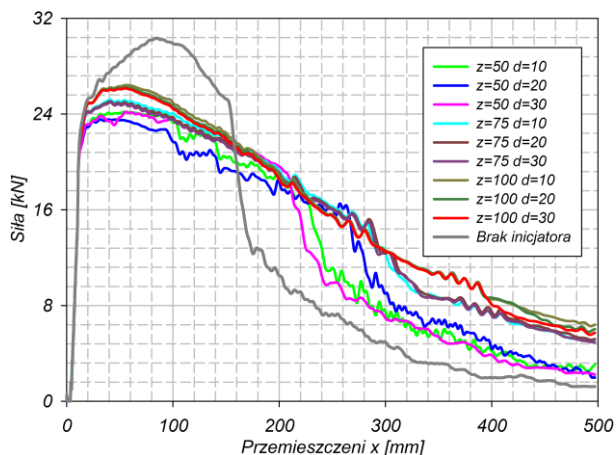
Rys. 1. Absorber rurowy z inicjatorem: a) model geometryczny, b) dyskretyzacja przestrzenna.

2. Przedmiot badań

Przedmiotem badań jest absorber w postaci rury o średnicy zewnętrznej 88,9 mm i grubości ścianki 4 mm wykonany ze stali S355 przedstawiony na rys. 1a. W dolnej części absorbera znajduje się przetłoczenie pełniące funkcję inicjatora przegubu plastycznego.

3. Badania numeryczne

Przeprowadzono modelowanie numeryczne zginania wspornikowego absorbera rurowego z inicjatorem przegubu plastycznego. Symulowano warianty będące kombinacją różnego położenia inicjatora (50, 75 i 100 mm) oraz różnej średnicy stępła wykonującego przetłoczenie (10, 20 i 30 mm). Dodatkowo zamodelowano pracę absorbera bez inicjatora uznając otrzymane wyniki za referencyjne. Przyjęto, że absorber jest kotwiony jednostronnie poprzez umieszczenie w sztywnej tulei o wysokości 240 mm z luzem 1 mm. Zginanie realizowano za pomocą walca o średnicy 80 mm, którego oś była oddalona o 500 mm od krawędzi tulei mocującej.



Rys. 2. Siła w funkcji przemieszczenia podczas zginania wspornikowego absorberów rurowych

Do rozwiązania problemu wybrano metodę elementów skończonych (MES). Wykorzystano implementację MES w komercyjnym systemie do wspomagania obliczeń inżynierskich LS-Dyna. Do opisu mechanicznej odpowiedzi atakującego walca oraz tulei mocującej użyto modelu materiałowego ciała nieodkształcalnego. Natomiast materiał absorbera opisano modelem sprężysto-plastycznym z umocnieniem odcinkowo-liniowym. Przyjęto odkształceniowe kryterium zniszczenia uzależnione od wartości trójosiowości. Zastosowano jawne całkowanie macierzowego równania ruchu metodą różnic centralnych. Opracowany model uwzględniał zjawisko kontaktu. Pomiędzy ciałami modelu zdefiniowano kontakt typu segment-segment. Podczas definiowania kontaktu sformułowano tarcie pomiędzy komponentami modelu, dobierając współczynnik tarcia równy 0,25. Modele składały się wyłącznie z elementów powłokowych. Dyskretyzację przestrzenną absorbera z inicjatorem przedstawiono na rys. 1b.

Tabela. 1. Energia pochłonięta przez absorbery

		Średnica stępła d [mm]		
		10	20	30
Położenie inicjatora z [mm]	50	6,355 kJ	6,529 kJ	6,258 kJ
	75	7,515 kJ	7,506 kJ	7,418 kJ
	100	7,904 kJ	7,816 kJ	7,735 kJ

Przebieg siły w funkcji przemieszczenia stępła dla analizowanych wariantów przedstawiono na rys. 2. Największą siłą równą 30,4 kN zarejestrowano dla wariantu bez inicjatora, który uległ zniszczeniu najwcześniej. Obecność inicjatora stabilizuje przebieg siły i zwiększa energochłonność absorbera. W tab.1 przedstawiono zbiorczo ilość energii pochłoniętej podczas zginania rozpatrywanych przypadków. Wartość energii pochłoniętej przez wariant referencyjny (5,9 kJ) była najmniejsza spośród wszystkich absorberów z inicjatorem przegubu plastycznego.

4. Podsumowanie

W artykule podjęto próbę określenia wpływu położenia oraz geometrii inicjatora przegubu plastycznego na charakterystykę pracy absorbera rurowego. Przeprowadzona analiza pozwoliła wyciągnąć następujące wnioski:

- 1) położenie inicjatora ma decydujący wpływ na sposób zniszczenia absorbera,
- 2) wyżej położony inicjator zapobiega zniszczeniu absorbera od strony włókien rozciąganych,
- 3) średnica stępła spośród analizowanych parametrów ma najmniejszy wpływ na odpowiedź absorbera,
- 4) zastosowanie inicjatora przegubu plastycznego zwiększa energochłonność absorbera w stosunku do wariantu referencyjnego bez inicjatora,
- 5) zastosowanie inicjatora przegubu plastycznego zmniejsza maksymalną siłę w trakcie zginania absorbera w stosunku do wariantu referencyjnego,
- 6) zastosowanie inicjatora przegubu plastycznego w absorberach poduszek zderzeniowych jest celowe mając na uwadze na zwiększenie energochłonności, zmniejszenie maksymalnej siły oraz zapobiegnięcie oderwania absorbera od podłoża.

Praca została wykonana w ramach projektu Nr LIDER/28/0108/L-11/19/NCBR/2020 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Literatura

- [1] Yudo H., Yoshikawa T., *Buckling phenomenon for straight and curved pipe under pure bending*, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 20, No. 1, pp. 94-103, 2015.
- [2] Gresnigt A. M., Van Foeken R. J., *Local Buckling of UOE and Seamless Steel Pipes*, Proceedings of the 11th International Offshore and Polar Engineering Conference, Stavanger 2001.
- [3] Hauch S., Bai Y., *Bending moment capacity of pipes*, Proceedings of 18th International Conference On Offshore Mechanical and Arctic Engineering, St. Johns 1999.
- [4] Ji L. K. i in., *Apparent strain of a pipe at plastic bending buckling state*, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Vol. 37, No. 6, pp. 1811-1818, 2015.
- [5] Zheng M. i in., *On the evaluation of the plastic buckling of pipeline bending*, International Review of Applied Sciences and Engineering, Vo. 8, No. 1, pp. 25-35, 2017.
- [6] Limam, A. i in., *On the collapse of dented tubes under combined bending and internal pressure*, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 55, No. 1, pp. 1-12, 2012.
- [7] Yuan L. i in., *Buckling of dented bi-material pipe under bending Part I: Experiments and simulation*, International Journal of Solids and Structures, 2022.
- [8] Azadeh M., Taheri F., *On the response of dented stainless-steel pipes subject to cyclic bending moments and its prediction*, Thin-Walled Structures, Vol. 99, pp. 12-20, 2016.
- [9] Wang J. i in., *Ultimate strain capacity assessment of local buckling of pipelines with kinked dents subjected to bending loads*, Thin-Walled Structures, Vol. 169, 108369, 2021.