

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15- 18 października 2024

Ocena wpływu geometrii deflektora na uszkodzenia rurociągu spowodowane eksplozją TNT

Dawid Wieczorek¹, Sebastian Sławski¹, Sławomir Duda¹

¹Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, Politechnika Śląska
email: dawiwie567@student.polsl.pl, sebastian.slawski@polsl.pl, slawomir.duda@polsl.pl

STRESZCZENIE: Materiały wybuchowe to grupa materiałów specjalnego przeznaczenia, które są szeroko stosowane w różnych gałęziach przemysłu. Zainteresowanie tego typu materiałami wzrosło w ostatnim czasie, szczególnie ze względu na obecną sytuację geopolityczną. Ze względu na swoje właściwości materiały wybuchowe są często używane przeciwko personelowi wojskowemu, obywatelom lub infrastrukturze krytycznej. Dlatego też istnieje potrzeba określenia zagrożenia związanego z detonacją różnych materiałów wybuchowych. Ze względu na duże wymagania związane z prowadzeniem badań doświadczalnych, badacze coraz częściej decydują się na wykorzystanie technik komputerowych. W pracy przedstawiono wyniki badań numerycznych dotyczących oceny wpływu geometrii deflektora na zmniejszenie negatywnych oddziaływań eksplozji ładunku TNT o masie 4 kg na fragment rurociągu. Badania przeprowadzone zostały z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Przeprowadzone badania wykazały, że zastosowanie deflektora w znacznym stopniu zmniejsza negatywne oddziaływania fali uderzeniowej wygenerowanej w skutek detonacji TNT. Zastosowanie deflektorów o geometriach podobnych do stożków zmniejszyło negatywne oddziaływanie fali uderzeniowej na analizowany rurociąg w największym stopniu.

SŁOWA KLUCZOWE: wybuch, TNT, rurociąg, deflektor, MES, ALE

1. Wprowadzenie

Materiał wybuchowy jest to substancja która po odpowiednim zainicjowaniu uwalnia dużą ilość ciepła i ciśnienia w wyniku bardzo szybkiej, samopodtrzymującej się reakcji rozkładu egzotermicznego [1]. Materiały wybuchowe to grupa materiałów specjalnego przeznaczenia, które są wykorzystywane w różnych gałęziach przemysłu na całym świecie [2-5]. Niestety, ze względu na ich właściwości, są one również wykorzystywane do budowy improwizowanych urządzeń wybuchowych (IED, z ang. improvised explosive device), które stanowią poważne zagrożenie dla infrastruktury krytycznej, personelu wojskowego oraz ludności cywilnej [6,7]. Ze względu na zagrożenia związane z użyciem materiałów wybuchowych, badacze interesują się między innymi wpływem ich eksplozji na otoczenie [8-10]. Badania tego typu stanowią duże wyzwanie ze względu na konieczność zapewnienia bezpieczeństwa personelu badawczego, ograniczenie możliwości uszkodzenia układu pomiarowego oraz wymagania techniczne związane z dużą częstotliwością pobierania próbek i dużym zakresem pomiarowym wykorzystywanego sprzętu. Ze względu na duże wymagania związane z prowadzeniem badań doświadczalnych, badacze coraz częściej decydują się na wykorzystanie technik komputerowych.

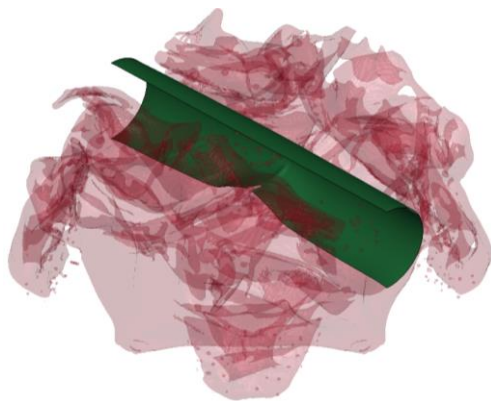
2. Metodyka badań

Rurociągi wykorzystywane do transportu różnych mediów są ważnym elementem infrastruktury krytycznej. Ze względu na ich całkowitą długość oraz stosunkowo łatwy dostęp osób postronnych są one łatwym celem

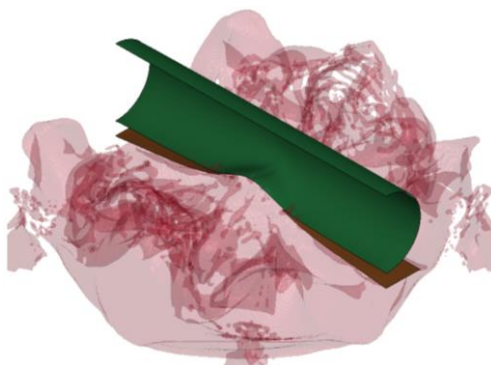
ataków z wykorzystaniem materiałów wybuchowych. W pracy oceniono wpływ geometrii deflektora na zmniejszenie negatywnych oddziaływań eksplozji TNT na fragment rurociągu o średnicy 508 mm, grubości ścianki 4 mm oraz długości 2000 mm. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem prostopadłościennego ładunku TNT o masie 4 kg. Ładunek został zlokalizowany na ziemi, pod rurociągiem którego oś znajduje się 750 mm nad poziomem gruntu. Analizie poddano rurociąg bez dodatkowych osłon oraz rurociąg osłonięty deflektorami o trzech różnych kształtach. Długość oraz grubość każdego z deflektorów wynosiła odpowiednio 2000 mm oraz 4 mm. Właściwości wytrzymałościowe rurociągu oraz deflektora odpowiadały stali P265GH. Wykorzystano sprężysto-plastyczny model materiałowy uwzględniający przerwanie spójności materiału w przypadku przekroczenia dopuszczalnych naprężeń zredukowanych. Węzłom znajdującym się na końcach analizowanego fragmentu rurociągu oraz deflektora odebrano wszystkie stopnie swobody. Badania przeprowadzone zostały z wykorzystaniem metody ALE (Arbitrary Lagrangian–Eulerian) w komercyjnie dostępnym oprogramowaniu LS-Dyna. Właściwości materiału wybuchowego opisano wykorzystując równanie stanu JW (Jones, Wilkins, Lee).

3. Wyniki

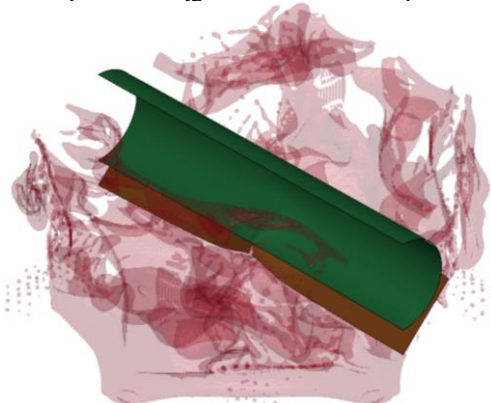
Uszkodzenia rurociągu powstałe w skutek eksplozji TNT różniły się od siebie w zależności od geometrii zastosowanego deflektora. Uszkodzenia powstałe w czasie $t = 2$ ms od detonacji ładunku w zależności od geometrii deflektora zostały przedstawione na rys. 1-4.



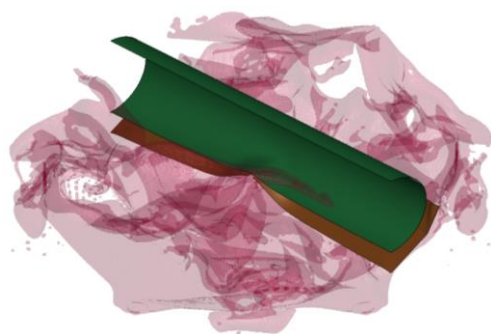
Rys. 1. Uszkodzenia powstałe 2 ms od eksplozji ładunku TNT pod rurociągiem bez deflektora



Rys. 2. Uszkodzenia powstałe 2 ms od eksplozji ładunku TNT pod rurociągiem z deflektorem płaskim



Rys. 3. Uszkodzenia powstałe 2 ms od eksplozji ładunku TNT pod rurociągiem z deflektorem typu V



Rys. 4. Uszkodzenia powstałe 2 ms od eksplozji ładunku TNT pod rurociągiem z deflektorem typu „diamond shape”

Największe uszkodzenia rurociągu zaobserwowano w przypadku braku dodatkowego deflektora – jest to jedyny

przypadek w którym doszło do przerwania jego spójności. Zastosowanie deflektora skutkowało ograniczenie uszkodzeń analizowanego rurociągu do jego plastycznego odkształcenia. W przypadkach w których zastosowano dodatkowy deflektor największy obszar odkształceń plastycznych rurociągu zaobserwowano w przypadku zastosowania deflektora płaskiego. Wskutek detonacji ładunku został on rozerwany na dwie części. Maksymalne naprężenia redukowane rurociągu wynosiły w tym przypadku 402 MPa. Znacznie mniejsze obszary odkształceń plastycznych zaobserwowano w przypadku deflektora typu V oraz „diamond shape” – ograniczały się one wyłącznie do obszaru w którym odkształcony deflektor uderzył w rurociąg. Maksymalne naprężenia redukowane rurociągu jakie zaobserwowano w przypadku zastosowania deflektora typu V oraz „diamond shape” to odpowiednio 350 MPa oraz 327 MPa. Deflektory typu V oraz „diamond shape” charakteryzowały się małymi obszarami pęknięć, które ograniczały się do szpiczastego obszaru znajdującego się najbliżej detonowanego ładunku.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwoliły na opracowanie poniżej przedstawionych wniosków.

- 1) Wykorzystanie metod numerycznych pozwala na szybką i bezpieczną weryfikację rozwiązań konstrukcyjnych mających na celu zmniejszenie negatywnych oddziaływań detonacji materiałów wybuchowych na elementy infrastruktury krytycznej.
- 2) Zastosowanie deflektora powoduje zmniejszenie negatywnych oddziaływań eksplozji materiałów wybuchowych na elementy infrastruktury krytycznej.
- 3) Największą skutecznością zmniejszenia negatywnych oddziaływań fali uderzeniowej charakteryzują się deflektory o geometriach podobnych do stożków.

Literatura

- [1] Agrawal J.P., *High Energy Materials: Propellants, Explosives and Pyrotechnics*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2010.
- [2] Oluwoye I., Długogorski B.Z., Gore J., Oskierski H.C., Altarawneh M., *Atmospheric Emission of NO_x from Mining Explosives: A Critical Review*, Atmospheric Environment, Vol. 167, pp. 81–96, 2017.
- [3] Khomenko O., Kononenko M., Myronova I., Savchenko M., *Application of the Emulsion Explosives in the Tunnels Construction*, E3S Web of Conferences, Vol. 123, 01039, 2019.
- [4] Pradhan S.K., Kedia V., Kour P., *Review on Different Materials and Their Characterization as Rocket Propellant*, Materials Today: Proceedings, Vol. 33, No. 8, pp. 5269–5272, 2020.
- [5] Viguera D.J., de Renero C.T., Inal O.T., *Explosive and Impact Welding: Technical Review*, Materials Technology, Vol. 22, No. 4, pp. 200–204, 2007.
- [6] Horváth T., Ember I., *Characteristics of Homemade Explosive Materials and the Possibilities of Their Identification*, Land Forces Academy Review, Vol. 26, No. 2, pp. 100–107, 2021.
- [7] Grant M., Stewart M.G., *Probabilistic Risk Assessment for Improvised Explosive Device Attacks That Cause Significant Building Damage*, Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 29, No. 5, B4014009, 2015.
- [8] Baranowski P., Małachowski J., Mazurkiewicz Ł., *Local Blast Wave Interaction with Tire Structure*, Defence Technology, Vol. 16, No. 3, pp. 520–529, 2020.
- [9] Pyka D., Olaleye K., Kurzawa A., Roik T., Ziolkowski G., Bocian M., Jamrozak K., *Analysis of Pulse Load of a Steel Roller in the Numerical Simulation Method*, Fatigue and Fracture of Materials and Structures, Vol. 24, pp. 39–45, 2022.
- [10] Stanczak M., Frasz T., Blanc L., Pawłowski P., Rusinek A., *Blast-Induced Compression of a Thin-Walled Aluminum Honeycomb Structure—Experiment and Modeling*, Metals, Vol. 9, No. 12, 1350, 2019.