

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

Badania odporności balistycznej zbiornika paliwowego z przeznaczeniem do zabudowy pojazdu opancerzonego

Maciej Roszak¹, Dariusz Pyka¹, Krzysztof Jamroziak¹, Mirosław Bocian¹

¹Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej, Politechnika Wroclawska
email: maciej.roszak@pwr.edu.pl, dariusz.pyka@pwr.edu.pl, krzysztof.jamroziak@pwr.edu.pl, miroslaw.bocian@pwr.edu.pl

STRESZCZENIE: Zbiorniki paliwowe w pojazdach poruszających się w strefach zagrożenia są podatne na uszkodzenia będące następstwem ostrzału. Zapewnienie odpowiedniej wytrzymałości tego typu elementom konstrukcji jest niezwykle istotne. Obiektem badań był zbiornik paliwowy czołowego producenta, deklarowany jako wykonany z zewnętrznej powłoki, pozwalającej na zamykanie otworów postrzałowych. Zbiornik poddano ostrzałowi w dwóch wariantach: bez dodatkowej osłony oraz z dodatkową osłoną w postaci blachy pancernej ArmoX 500T o grubości #4 mm. Dodatkowo, autorzy przeprowadzili także analizy numeryczne w programie Abaqus/Explicit, które posłużyły do odwzorowania zjawisk fizycznych występujących podczas rzeczywistego ostrzału. Opracowane modele geometryczne i zadeklarowane warunki początkowo-brzegowe odzwierciedlały rzeczywiste warunki testu, a jako modele materiałowe zastosowano model Johnson-Cook, wraz z modelem zniszczenia. W badaniach tych kreślono wytrzymałość zbiornika na ostrzał, zakres zasklepienia się otworów postrzałowych oraz możliwości zapłonu paliwa wewnątrz zbiornika. Uzyskane wyniki z symulacji numerycznych odpowiednio korespondowały z wynikami badań eksperymentalnych.

SŁOWA KLUCZOWE: Obciążenia udarowe, Odporność balistyczna, Zbiornik paliwowy, Metoda Elementów Skończonych

1. Wprowadzenie

Zbiorniki paliwowe są wrażliwym elementem konstrukcyjnym w przypadku pojazdów poruszających się w obszarach objętych konfliktami zbrojnymi, w trakcie przewożenia VIP-ów itp. [1, 2].

Przestrzelenie zbiornika w trakcie ataku na pojazd może nieść za sobą wiele negatywnych konsekwencji. Osłabienie konstrukcji poprzez przestrzelenie zbiornika może doprowadzić do:

- szybkiej utraty paliwa i przez to unieruchomienie pojazdu;
- wycieku mieszanki paliwowej, a co za tym idzie zapłonu i wybuchu;
- poprzez wywierane ciśnienie i osłabieniu konstrukcji, całkowity rozpad zbiornika.

W związku z tym niezwykle istotne jest odpowiednie zabezpieczenie tego elementu konstrukcji, gdyż bezpośrednio wpływa na bezpieczeństwo podróżującej załogi i użytkowników pojazdu. W tym celu stosuje się różne konstrukcje, wykorzystujące lekkie materiały [3].

2. Obiekt badań

Przedmiotem badań był zbiornik paliwa wykonany przez HUTCHINSON® pod nazwą jako SAFETANK serial Nbr. 120710-04. Zbiornik ten przeznaczony jest do zastosowań militarnych. Ze względu na swoje zalety ochrony balistycznej montowany jest w pojazdach opancerzonych. Dostarczony do badań balistycznych zbiornik paliwa to według firmy HUTCHINSON® bezpieczny zbiornik na paliwo klasyfikowany przez producenta jako Safetank. Według materiałów reklamowych [4] wykonany z

zewnętrznej powłoki, która zamyka otwory powstałe na skutek ostrzału amunicją strzelecką, odłamkami i zatrzymuje wycieki paliwa. W ten sposób można ograniczyć:

- ryzyko pożaru i eksplozji;
- powstanie urazów załogi z zewnętrznych pożarów;
- zapłon oparów paliwa podczas wybuchu i penetracji amunicją.

Powłoka ochronna definiowana przez producenta jako Safetank cechuje się następującymi zaletami:

- eliminuje konieczność dopancerzania płytami z metalu lub kompozytów;
- wpływa dodatnio na zastosowane materiały w budowie zbiornika: tworzywo lub aluminium;
- może obniżyć masę systemu do ok. 100 kg w niektórych zastosowaniach.

Zbiornik, który poddano analizie to prostopadłościan o wymiarach 610×610×450 mm, jego widok przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Widok ogólny zbiornika z tabliczką producenta

3. Badania eksperymentalne

Eksperyment ostrzału zbiornika paliwa przeprowadzono na strzelnicy. Ostrzał przeprowadzono stosując metodykę badań ujętą w normie PN-EN 1523 [5]. Parametry amunicji wykorzystanej w trakcie badań przedstawiono poniżej (tab. 1).

Tabela 1. Parametry amunicji

| Pocisk | Prędkość początkowa [m/s] | Energia kinetyczna [J] |
|-------------------|---------------------------|------------------------|
| 9×19 mm FMJ Para | 356 | 518 |
| 7,62×39 mm FMJ PS | 720 | 2070 |
| .308 WIN Match | 780 | 3316 |

Przeprowadzono także badania numeryczne konstrukcji. Modele geometryczne opracowano na podstawie rzeczywistej struktury pocisków i zbiornika. Do opisu zachowania materiałów zastosowano model konstytutywny Johnson-Cook wraz z modelem zniszczenia [6, 7], w którym pomięto człon odpowiadający za termiczne zmiękczenie. Parametry materiałowe zestawiono w tabelach poniżej (tab. 2, 3).

Tabela 2. Parametry w modelu wytrzymałościowym [6, 7]

| Materiał | E [GPa] | ν [-] | A [MPa] | B [MPa] | n [-] | c [-] |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| Ołów | 13,00 | 0,42 | 35 | 46 | 0,48 | 0,010 |
| Mosiądz | 130,00 | 0,38 | 112 | 505 | 0,42 | 0,010 |
| A500T | 201,00 | 0,33 | 1372 | 835 | 0,25 | 0,062 |
| Guma | 1,57 | 0,49 | 10 | 2186 | 1,21 | - |
| Aluminium | 70,00 | 0,30 | 324 | 113 | 0,42 | 0,002 |

Tabela 3. Parametry w modelu zniszczenia [7, 8]

| Materiał | D_1 [-] | D_2 [-] | D_3 [-] | D_4 [-] |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A500T | 0,043 | 2,152 | -2,758 | -0,006 |
| Aluminium | -0,770 | 1,450 | -0,470 | 0,000 |

4. Wyniki badań

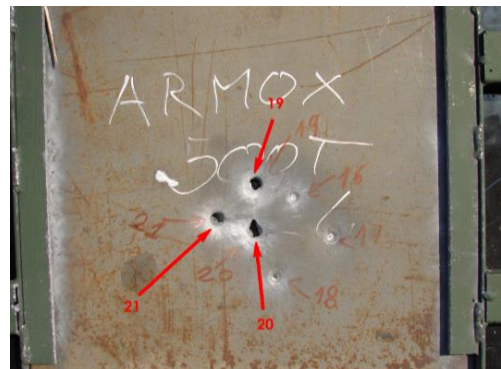
Wyniki przeprowadzonych badań zestawiono poniżej (tab. 4).

Tabela 4. Zestawienie wyników badań

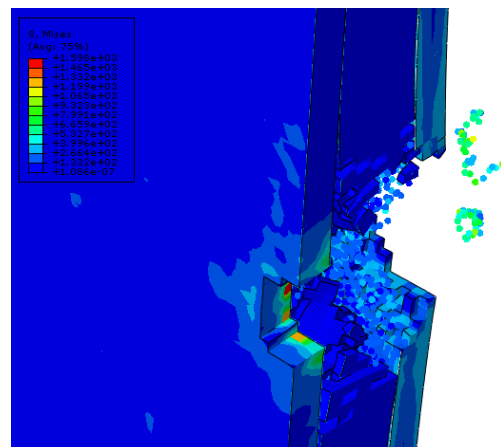
| Pocisk | Eksperyment | Symulacje |
|------------------------|-------------|-----------|
| z dodatkową ochroną | | |
| 9×19 mm FMJ Para | B | B |
| 7,62×39 mm FMJ PS | B | B |
| .308 WIN Match | P | P |
| bez dodatkowej ochrony | | |
| 9×19 mm FMJ Para | P | P |
| 7,62×39 mm FMJ PS | P | P |
| .308 WIN Match | P | P |

gdzie: B – brak przebicia, P – przebicie.

Zastosowanie dodatkowej ochrony w postaci arkusza stali pancerniej pozwoliło na zatrzymanie pocisku 9×19 mm FMJ Parabellum (Para) oraz 7,62×39 mm nb. wz. 43 z poc. PS. Brak dodatkowej ochrony skutkowało całkowitym przebiciem ściany zbiornika. Przykładowe wyniki badań eksperymentalnych przedstawiono poniżej (rys. 2) oraz symulacji numerycznych (rys. 3).



Rys. 2. Widok ostrzelanego zbiornika paliwa nabojem .308 WIN Match z dodatkową osłoną ArmoX500T



Rys. 3. Efekt symulacji ostrzelanego zbiornika paliwa nabojem .308 WIN Match z dodatkową osłoną ArmoX500T

5. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano korelację pomiędzy wynikami badań eksperymentalnych i numerycznych. Na tej podstawie przedstawiono następujące wnioski:

- 1) Ściana zbiornika bez dodatkowej osłony poddana ostrzałowi ulega przestrzeleniu, a zawartość zbiornika wylewa się na zewnątrz.
- 2) Dodatkowa osłona w postaci stali pancerniej A500T pozwala na zachowanie założonej kuloodporności poza ostrzałem pociskiem .308 WIN Match.

Literatura

- [1] NATO AEP-55 STANAG 4569:2020 „Procedures for evaluating the protection levels of logistic and light armoured vehicles for KE and artillery threat”.
- [2] Risberg E., A Pre-Study on Implementing Self-Sealing Techniques in the Fuel Tank of the Combat Vehicle 90 : BAE Systems Hägglunds, 78, 2014.
- [3] Anurag Purbey R.S., Ramamoorthy M., Impact Response of a Partially Filled Fuel Tank Subjected to High-Velocity Projectiles. Aust. J. Mech. Eng., 22, 342–360, 2024.
- [4] <https://www.hutchinson.com/pl/produkty/os%C5%82ona-zbiornik%C3%B3w-safetank> (dostęp: 7.07.2024)
- [5] PN-EN 1523:2003 „Okna, drzwi, żaluzje i zasłony. Kuloodporność”. Metody badań.
- [6] Iqbal, M.A., Senthil, K., Sharma, P., Gupta, N.K, An Investigation of the Constitutive Behavior of ArmoX 500T Steel and Armor Piercing Incendiary Projectile Material. Int. J. Impact Eng. 96, 146–164, 2016.
- [7] Spear D.G., Palazotto A.N., Kemnitz R.A., Modeling and Simulation Techniques Used in High Strain Rate Projectile Impact. Mathematics, 9, 1–29, 2021.