

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15-18 października 2024

Badanie wpływu uproszczeń na wyniki symulacji numerycznych zagadnienia przebicia pancerza pociskiem

Radosław Kiciński¹, Bogdan Szturomski², Jamal Hamoud³

¹ Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Mechaniczno – Elektryczny, Gdynia, Polska; r.kicinski@amw.gdynia.pl

² Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Mechaniczno – Elektryczny, Gdynia, Polska; b.szturomski@amw.gdynia.pl

³ PGZ Stocznia Wojenna; jhamoud@pgzsw.com.pl

Correspondence: r.kicinski@amw.gdynia.pl

STRESZCZENIE: W pracy przedstawiono problematykę modelowania procesu przebicia pancerza pociskiem wystrzelonym z broni małokalibrowej w ujęciu metody elementów skończonych – dynamic explicate. Analizowano wpływ uproszczeń stosowanych w zagadnieniach procesów szybkozmiennych na otrzymywane wyniki, które zweryfikowano eksperymentami poligonowymi. Wprowadzono teorię dotyczącą zjawiska rykoszety oraz przedstawiono eksperymentalny sposób modelowania tego zjawiska. Innowacyjnym podejściem jest modelowanie pocisku jako odkształcalnego i posiadającego kryterium zniszczenia. Przeprowadzono eksperymentalne badania przebicia próbki wykonanej ze stali 1.3964 pod różnymi kątami w celu określenia granicznego kąta rykoszety. Następnie przedstawiono stałe materiałowe oraz przeprowadzono symulacje numeryczne doświadczenia. Porównano spadki prędkości pocisku podczas rykoszety oraz przeanalizowano zmianę jego trajektorii. Kąty graniczne rykoszety dla stali 1.3964 wahały się od 60° do 70°.

SŁOWA KLUCZOWE: MES, przestrzeliwanie, rykoszet

1. Wprowadzenie

Proces przebicia stalowych pancerzy przez pocisk jest procesem znanym i dobrze opisanym w literaturze. Jednolite pancerze stalowe mają wiele zalet, jedną z nich jest prosta konstrukcja i łatwy montaż. Zatrzymanie pocisku danego kalibru w jednolitych pancerzach stalowych jest funkcją ich grubości. Ich wadą jest masa. Z tego względu stosuje się je do ochrony obiektów stacjonarnych takich jak bunkry, schrony, strategiczne budynki itp. Były też stosowane do ochrony załóg pojazdów bojowych, czołgów a nawet pociągów, jednak ich masa wpływała niekorzystnie na manewrowość i zasięg tych pojazdów. Pancerze stalowe nie sprawdziły się w przypadku ochrony załóg okrętów wojennych. Era ciężkich okrętów pancernych przeminęła bezpowrotnie. Współczesne okręty wojenne muszą cechować się odpowiednim zasięgiem, manewrowością, prędkością i pływalnością. Ze względu na znaczące masy pancerzy na okrętach chroni się tylko wybrane przestrzenie takie jak stanowiska dowodzenia, komory amunicyjne, silosy rakiet itp. Jeszcze trudniej jest opancerzyć obiekty latające takie jak samoloty i śmigłowce. Z tego powodu ciągle poszukujemy nowych rozwiązań zarówno w sferze lekkich materiałów jak i w sferze konstrukcji (geometrii) pancerza w celu konstruowania lekkich osłon przeciwpancernych. W lekkich osłonach przeciwpancernych wykorzystuje się różne zjawiska takie jak absorpcja energii pocisku, zmiana jego kierunku, rykoszetywanie itp., których celem jest całkowite przejście jego energii. Lekkie osłony balistyczne są konstrukcjami wielowarstwowymi składającymi się z różnych warstw materiałów ułożonych

względem siebie w przeróżny sposób. Przy obecnej kreatywności konstruktorów nie sposób jest wykonać każdy z pomysłów, zatem z pomocą przychodzą metody numeryczne.

2. Sformułowanie problemu i cel pracy

Do projektowania lekkich osłon przeciwpancernych wykorzystuje się metodę elementów skończonych implementowaną w programach CAE. Zagadnienie przebicia pancerza pociskiem jest procesem szybkozmiennym i wymaga rozwiązania zagadnienia kontaktowego, zastosowania odpowiednich modeli rozpatrywanych zjawisk i ich uproszczeń, które rozwiązują się wykorzystując metodę elementów skończonych w ujęciu explicate, co pozwoli otrzymać rozwiązanie z daną dokładnością, pozwalającą ocenić skuteczność projektowanego pancerza. Ostateczną weryfikację projektowanego pancerza przeprowadza się na poligonie.

Modelując zagadnienie przebicia pancerza w ujęciu MES stosuje się uproszczenia geometryczne, materiałowe, oraz pomija niektóre zjawiska. W rezultacie każde otrzymane rozwiązanie jest przybliżone. W procesach szybkozmiennych z uwzględnieniem procesu zniszczenia szczególnie istotny jest opis materiału w zakresie sprężystym, plastycznym i degradacji. Na wyniki wpływa również sposób dyskretyzacji i krok czasowy. Celem pracy jest analiza wpływu wybranych uproszczeń na otrzymywane wyniki i porównanie ich z eksperymentami poligonowymi

3. Równanie macierzowe MES

W przypadku penetracji pocisku rozważane równanie konstytutywne jest bardziej złożone ze względu na dodatkowe kryteria. W każdym kroku macierze masy, sztywności i obciążenia iterują względem siebie, ponieważ biorąc pod uwagę kryteria zniszczenia, zmienia się bezwładność całego układu; każdy element skończony jest elementem stykowym dla drugiego, a jego sztywność zależy od stopnia degradacji. Równanie konstytutywne można wyrazić jako:

$$M(U, n)\ddot{U} + C\dot{U} + K(U, \dot{\epsilon}_{pl}, \epsilon_{failure})U = F(m_{bullet}, \alpha, v, t, \dot{\epsilon}_{bullet}, \epsilon_{failure}, C_{int}, \mu \dots) \quad (1)$$

where:

- K – macierz sztywności;
- M – macierz bezwładności;
- $C = \alpha M + \beta K$ – macierz tłumienia gdzie α i β są współczynnikami tumanienia Rayleigha;
- U, \dot{U}, \ddot{U} – wektor przemieszczenia, prędkości i przyśpieszenia;
- F – wektor obciążenia;
- $\dot{\epsilon}_{pl}$ – prędkość odkształcenia;
- $\epsilon_{failure}$ – odkształcenie niszczące;
- v – prędkość pocisku;
- t – czas;
- α – kąt ostrzału;
- m_{bullet} – masa pocisku;
- C_{int} – interakcja pomiędzy elementami skończonymi pocisku;
- μ – współczynnik tarcia.

4. Badania poligonowe

Badania poligonowe przeprowadzono w Zakładach Mechanicznych w Tarnowie (grupa PBZ) podczas których przestrzeliwano próbki stalowe 1.3964 dla kątów strzału w zakresie $0^\circ - 35^\circ$. Ostrzał wykonywano karabinkiem kalibru 7,62 do próbek o grubości 4 mm i 6 mm. Podczas badań dokonywano pomiaru prędkości pocisku przed i za próbką oraz wykonywano rejestrację procesu przebicia tzw. szybką kamerą (Rys. 1).

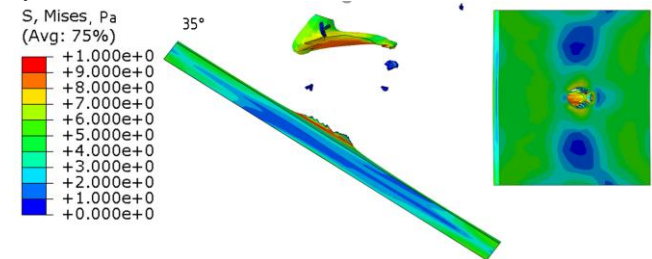


Rys. 1. Kadr z szybkiej kamery

5. Wyniki symulacji

W pracy przeprowadzono szereg serii symulacji przebicia stalowej próbki 1.3964 dla kątów strzału w zakresie $0^\circ - 80^\circ$. Symulacje przeprowadzono

z wykorzystaniem wyników przebicia stali 1.3964. Prędkość pocisku za próbką i morfologia odkształcenia z symulacji zostały porównane wizualnie z rzeczywistymi odkształceniami próbki. Symulację wykonywano stosując uproszczenia geometryczne i materiałowe. Jako wyniki symulacji analizowano stan deformacji próbki oraz prędkość pocisku przed i za próbką. Wyniki zaprezentowano w formie tabelarycznej i graficznej. Przykładowe wyniki przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Wyniki symulacji dla kąta ostrzału 35°

6. Podsumowanie

Przedstawione rozważania ukazują wiele czynników wpływających na rozwiązanie zadań związanych z obciążeniami udarowymi. Inżynier stojący przed problemem z tej dziedziny musi znaleźć kompromis pomiędzy trafnością rozwiązania, a liczbą branych pod uwagę czynników oraz zastosowanych uproszczeń.

W procesach szybkozmiennych należy zwrócić szczególną uwagę na dobór rozmiaru elementu skończonego i kroku czasowego. Obliczenia z zakresu dynamiki są złożone i długotrwałe. Dlatego w przypadku dużych konstrukcji z wybranym złym krokiem czasowym charakter obciążenia może zostać całkowicie pominięty.

Przeprowadzone badania numeryczne wykazały, że dobór parametrów symulacji musi być zweryfikowany za pomocą eksperymentu w rzeczywistych warunkach.

Dysponując zweryfikowanym modelem numerycznym można projektować osłony przeciwpancerne. Symulacje numeryczne dają przybliżony wynik, ale i tak są tanim narzędziem w odniesieniu do testów poligonowych

7. Wybrana literatura

- [1] T W Burke; W F Rowe Bullet Ricochet: A Comprehensive Review. Journal of Forensic Sciences 1992, 37, 1254–1260.
- [2] Fitchett, B. Ricochet Analysis Introduction - Ballistics Available online: <https://www.bevfitchett.us/ballistics/ricochet-analysis-introduction.html> (accessed on 10 June 2020).
- [3] Seidl, M.; Legendre, J.; Mehl, M.; Souli, M. Numerical Ricochet Model of a 7.62 Mm Projectile Penetrating an Armor Steel Plate.; 2018.
- [4] Nishshanka, B.; Shepherd, C.; Paraniurubasingam, P. Forensic Based Empirical Study on Ricochet Behaviour of Kalashnikov Bullets (7.62mm×39mm) on 1mm Sheet Metal. Forensic Science International 2020, 312, 110313. doi:10.1016/j.forsciint.2020.110313.
- [5] Haag M.; Haag L. C. Shooting Incident Reconstruction – 2nd Ed; 2011; ISBN 978-0-12-382241-3.
- [6] Johnson, G.R.; Cook, W.H. A Constitutive Model and Data for Metals Subjected to Large Strains, High Strain Rates. Proceed-ings of the 7th International Symposium on Ballistics 2009.