

Sybilski Kamil
Robert Panowicz
Tadeusz Niezgoda
Wiesław Barnat
Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny
email – ksybilski@wat.edu.pl

Analiza numeryczna uderzenia pocisku z głowicą kumulacyjną w pancerz wykonany z kątowników

Artykuł zawiera opis przeprowadzonych analiz numerycznych uderzenia pocisku z głowicą kumulacyjną w pancerz prętowy. Na podstawie wyników symulacji dokonano porównania skuteczności wybranego tego samego rodzaju pancerza ustawionego w dwóch pozycjach.

Numerical analysis of missile impact with accumulation head into rod armour made from try squares.

The article contains a description of the realized numerical analysis of the missile impact with accumulation head into rod armour. Based on the results were compared effectiveness of the choosen type of armour placed in two positions.

1 Wprowadzenie

Prowadzone obecnie na świecie konflikty zbrojne oraz działania polskich wojsk w ramach misji stabilizacyjnych pokazują, że obecnie największe zagrożenie stanowią dwa rodzaje środków ogniowych, skutecznie wykorzystujące słabe strony używanego tam sprzętu. Pierwszym z nich są wszelkiego rodzaju miny i improwizowane ładunki wybuchowe (ang. Improvised Explosive Devices – IED), których podstawowym czynnikiem rażenia jest fala ciśnienia powstała na skutek detonacji materiału wybuchowego. W przypadku tych ładunków czynnikiem zwiększającym siłę rażenia są różnego rodzaju odłamki (kulki, gwoździe, śruby itp.) umieszczone w ładunku lub bezpośrednio na nim. Drugim najniebezpieczniejszym środkiem ogniowym są pociski z głowicą kumulacyjną. Pociski te z uwagi na szereg zalet, tj. niski koszt produkcji i wysoką przebijalność (do 900 mm stali pancernej RHA [1]), są bardzo często wykorzystywane we wszelkiego typu konfliktach zbrojnych. Najczęściej spotykane są pociski wystrzeliwane z granatnika typu RPG. Produkowane są one w krajach postradzieckich, Chinach oraz krajach bliskiego wschodu. Wykorzystują je siły zbrojne ponad 40 państw. Pociski z głowicą kumulacyjną cieszą się w szczególności dużą popularnością wśród oddziałów terrorystycznych oraz partyzanckich. Skonstruowane z założenia do przebijania pancerzy, są wykorzystywane przez te oddziały do niszczenia szeregu obiektów nieopancerzonych o znaczeniu strategicznym, tj. budynków, umocnionych pozycji stacjonowania wojsk, a nawet nisko lecących statków powietrznych.

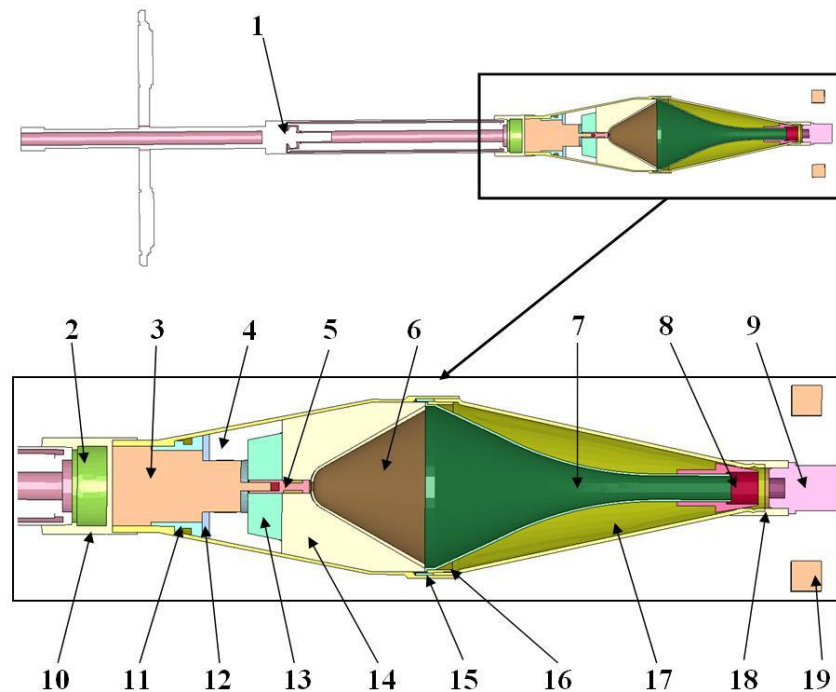
Z uwagi na wysoką skuteczność pocisków z głowicą kumulacyjną ogromny problem stwarza ochrona przed tego typu środkiem ogniowym. Obecnie najszerzej są stosowane cztery rodzaje systemów obrony: pancerze reaktywne, pancerze aktywne, grube pancerze stalowe

oraz pancerze prętowe. W prezentowanym artykule skupimy się na ostatniej grupie, której istotą działania jest zminimalizowanie skuteczności głowicy kumulacyjnej poprzez uszkodzenie jej kluczowych elementów: wkładki i materiału wybuchowego.

2 Budowa i zasada działania pocisku

Niewątpliwymi zaletami omawianego w artykule pocisku PG-7G są małe gabaryty (długość ok. 900 mm, średnica do 85 mm) oraz niska masa (ok. 2 kg). Z tego względu jest łatwy w transporcie i doskonale sprawdza się jako broń zabierana na patrolu.

Pocisk PG-7G składa się z trzech zasadniczych elementów: głowicy, silnika raketowego oraz stabilizatora lotu (rys. 1). Głowicę tworzy kadłub, czepiec balistyczny, wkładka kumulacyjna, ładunek materiału wybuchowego, przesłony, stożek przewodzący, izolator i zapalnik.



Rys. 1 Przekrój głowicy PG-7G; 1-silnik raketowy, 2-dysze silnika raketowego, 3-denna część zapalnika, 4-materiał wybuchowy–kostka dolna, 5-przewodnik 6-wkładka kumulacyjna, 7-stożek przewodzący, 8-izolator, 9-głowicowa część zapalnika, 10-korpus głowicy, 11-element ustalający, 12 - krążek, 13-przesłona, 14-materiał wybuchowy–kostka górna, 15-izolator, 16-pierścień izolacyjny, 17 - czepiec balistyczny, 18-element mocujący górną część zapalnika, 19-kątowniki

Podczas oddania strzału, pocisk PG-7G jest wystrzelony z ręcznego granatnika, a napędzany za pomocą silnika raketowego (maksymalna prędkość uzyskiwana przez pocisk wynosi ok. 300 m/s) i na koniec uderza w cel. W chwili uderzenia pocisku w cel zapalnik generuje impuls elektryczny, który pobudza materiał wybuchowy poprzez spłonkę. Impuls elektryczny jest przekazywany przez dwa obwody: zewnętrzny i wewnętrzny. Obwód zewnętrzny składa się z czepca balistycznego i kadłuba głowicy, natomiast obwód wewnętrzny tworzą stożek przewodzący i wkładka kumulacyjna. Wynikiem detonacji materiału wybuchowego jest utworzenie się strumienia kumulacyjnego. W celu właściwego

ukierunkowania i skupienia energii, materiał wybuchowy musi być odpowiednio ukształtowany. Optymalne ukształtowanie polega na wykonaniu w jego przedniej części stożkowej wnęki o kącie rozwarcia ok. 60° . Aby zwiększyć skuteczność takiego ładunku w utworzonej wnęce umieszcza się wkładki wykonane z różnego rodzaju materiałów, np. miedzi.

Utworzony strumień kumulacyjny stanowi ok. 20% masy wkładki i porusza się z prędkością kilku kilometrów na sekundę wzdłuż osi symetrii ładunku. Reszta materiału wkładki tworzy tzw. zbitek poruszający się ze stosunkowo niedużą prędkością. Strumień kumulacyjny ma postać cienkiej metalowej nici o grubości kilku milimetrów w najszerszym miejscu. Jest on czynnikiem odpowiedzialnym za zniszczenie. W trakcie uderzenia w pancierz tworzy otwór o głębokości dochodzącej do 9 kalibrów wkładki.

Ważnym czynnikiem związanym ze skutecznością pocisku jest precyzja jego wykonania. Aby strumień kumulacyjny utworzył się, materiał wybuchowy i wkładka muszą być bardzo dokładnie wykonane. Dla uzyskania maksymalnej siły niszczenia niedokładność wykonania układu nie powinna przekraczać 0,05 mm, a odchyłka promieniowa wkładki 0,03 mm. W przypadku niespełnienia tych wymagań zdolność do penetracji pancerza przez strumień jest mniejsza. W skrajnym przypadku nie powstanie strumień, a skutki działania głowicy są porównywalne z detonacją materiału wybuchowego zawartego w pocisku.

Powyższy warunek dokładności wykonania pocisku wykorzystują pancerze prętowe. Ich zasada działania opiera się na takim uderzeniu w czepiec balistyczny, aby możliwie jak najsilniej zniekształcić, a nawet uszkodzić wkładkę kumulacyjną i materiał wybuchowy. W przypadku silnego odkształcenia tych elementów detonacja materiału wybuchowego nie spowoduje utworzenia się strumienia kumulacyjnego.

Ważnym aspektem pancerzy prętowych jest szerokość prętów i ich rozstaw. Aby pancierz tego typu był skuteczny, w chwili zetknięcia się pocisku z nim, zapalnik musi znajdować się pomiędzy prętami. Jakikolwiek uderzenie w zapalnik, przed uszkodzeniem wkładki kumulacyjnej i materiału wybuchowego, doprowadzi do generacji czynnika odpowiedzialnego za zniszczenie – strumienia kumulacyjnego.

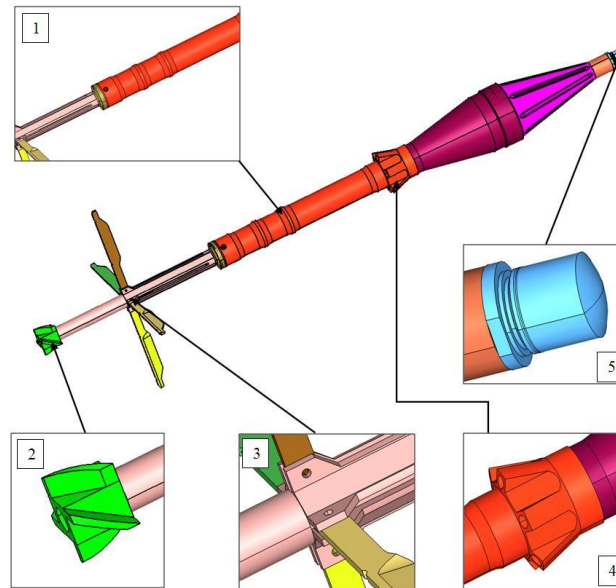
3 Budowa modelu numerycznego

W celu przeprowadzenia analizy uderzenia pocisku typu PG-7G w pręt o przekroju kwadratowym opracowano model numeryczny odwzorowujący pracę pocisku. W trakcie opracowywania modelu numerycznego starano się ograniczyć do minimum liczbę użytych elementów, jednocześnie nie tracąc fizycznego zachowania się modelu. Działanie to miało na celu skrócenie czasu rozwiązania całości zagadnienia, co daje możliwość przeanalizowania wielu wariantów obliczeń w stosunkowo krótkim czasie. Ograniczenie liczby elementów możliwe było dzięki zastosowaniu uproszczeń geometrii (rys. 2), które nie mają wpływu na zachowanie się układu jako całości.

W modelu wprowadzono 5 głównych uproszczeń:

1. Usunięto zgrubienia oraz otwór w rurze znajdującej się pomiędzy dyszami a brzechwami.
2. Stabilizator lotu zastąpiono walcem o takiej samej masie.
3. Usunięto otwory mocujące brzechwy.

4. Usunięto dysze.
5. Wystającą na zewnątrz pocisku część zapalnika zastąpiono jednym walcem.



Rys. 2. Uproszczenia geometrii pocisku

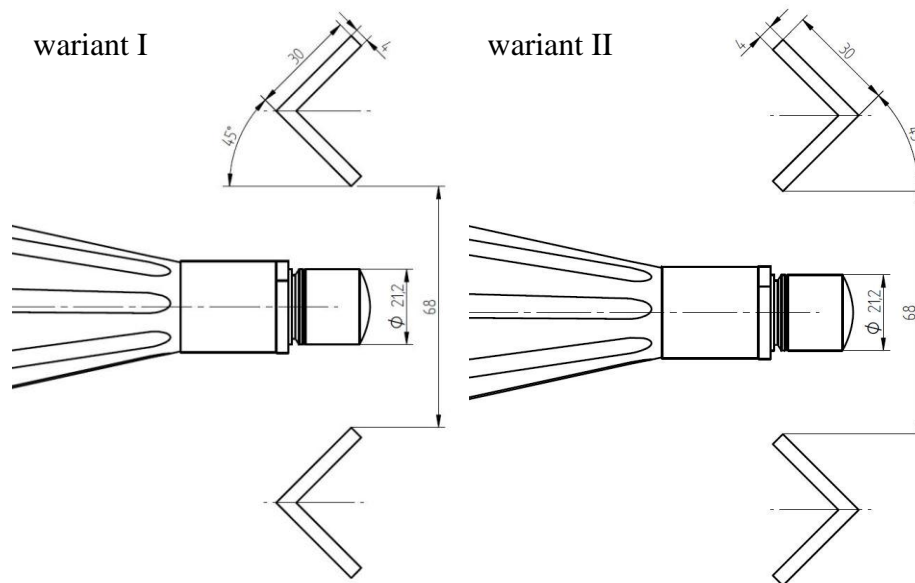
Dodatkowo wszystkie części znajdujące się za dyszami zostały potraktowane jako jedna część, której przypisano właściwości materiałowe pozwalające na odzwierciedlenie rzeczywistych parametrów masowo-bezwładnościowych zastąpionych części.

Ostateczny model numeryczny składa się z 19 części (rys. 1), które zbudowane zostały z 106484 elementów skończonych. Przypisane poszczególnym częściom właściwości materiałowe odpowiadają materiałom stosowanym w rzeczywistości. Do opisu zachowania się materiałów wykorzystano dwa modele: *Piecewise_Linear_Plastic* oraz *Simplified_Johnson_Cook* [2]. Pierwszy z nich, poprzez wykorzystanie wykresu naprężeń w funkcji odkształceń, zastosowano do wszystkich części, z wyjątkiem elementów wykonanych z miedzi. Do opisu miedzi wykorzystano uproszczony model Johnsona-Cooka.

W modelu numerycznym pocisku uwzględniono wszystkie części znajdujące się wewnątrz głowicy oraz zjawisko kontaktu z tarcie między nimi. Z uwagi na duże prędkości przemieszczania się elementów oraz duże deformacje, procedura kontaktu była realizowana poprzez model typu *Automatic_single_surface* stosowany głównie w analizach typu crash. Dodatkowo pomiędzy korpusem głowicy i czepcem balistycznym zdefiniowano kontakty typu *Contact_automatic_surface_to_surface_tiebrak*. Dzięki temu możliwe było częściowe odwzorowanie właściwości połączenia gwintowego występującego pomiędzy tymi częściami. Kontakt tego typu umożliwia wprowadzenie możliwości warunkowego rozdzielenia połączonych elementów.

Analizy numeryczne zostały przeprowadzone w systemie Ls-Dyna [2]. W trakcie symulacji realizowane było prostopadłe uderzenie pocisku w dwa pręty zbudowane z kątowników o wymiarach $30 \times 30 \times 4 \times 500$. Przeanalizowano uderzenie pocisku w pancierz prętowy zbudowany z kątowników o różnym, względem pocisku położeniu (rys. 3). Założono, że pocisk poruszający się z prędkością 300 m/s uderza w połowie długości prętów i

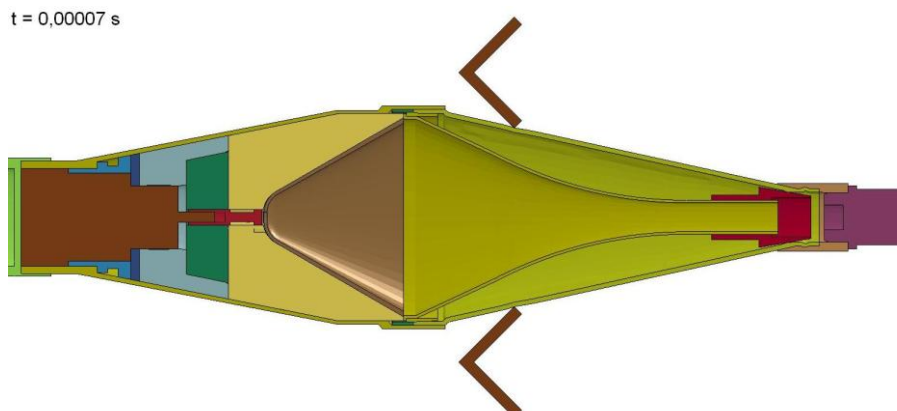
idealnie pomiędzy nie. Oznacza to, że zapalnik nie kontaktuje się z pancerzem, ale przechodzi pomiędzy jego elementami. Końcom prętów, z uwagi na fakt, że są one częścią struktury kratowej, odebrano wszystkie stopnie swobody.



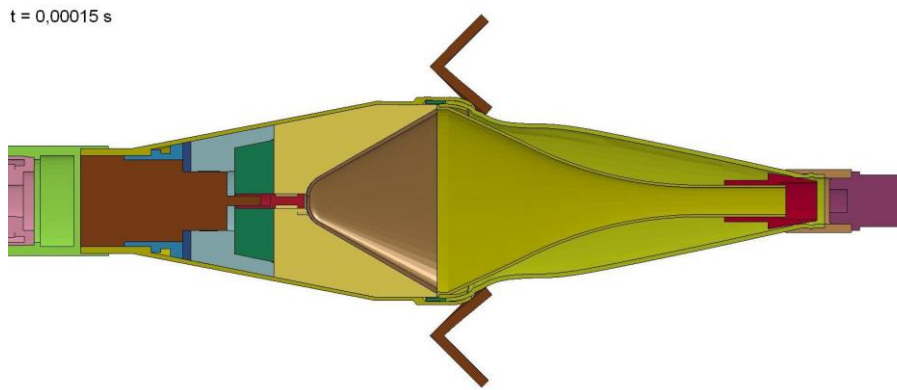
Rys. 3. Stan początkowy rozpatrywanego układu

4 Wyniki symulacji

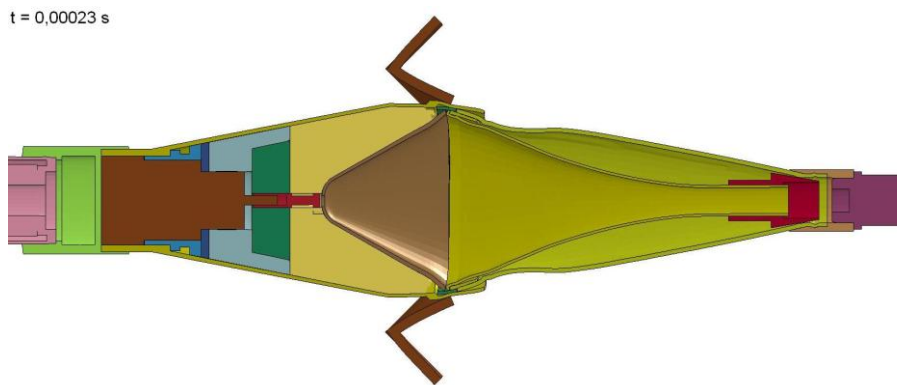
Na rysunkach 4 – 6 przedstawiono przekrój poprzeczny pancerza i głowicy pocisku dla wybranych chwil czasowych analizy uderzenia w kątowniki ustawione jak w wariancie I. Na załączonych rysunkach widać, że uderzenie pocisku w kątowniki nie powoduje istotnych uszkodzeń. Podczas zderzenia dochodzi do lekkiego zgniatania na kierunku promieniowym czepca balistycznego (rys. 4 i 5) oraz korpusu głowicy (rys. 6). Niski poziom uszkodzeń pocisku wynika głównie z odchylenia wewnętrznych ramion kątowników zgodnie z kierunkiem lotu pocisku.



Rys. 4. Przekrój poprzeczny pancerza i głowy pocisku dla chwili czasowej $t = 0,00007$ s – wariant I

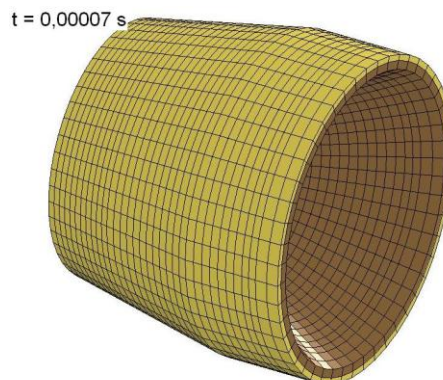


Rys. 5. Przekrój poprzeczny pancerza i głowy pocisku dla chwili czasowej $t = 0,00015$ s – wariant I

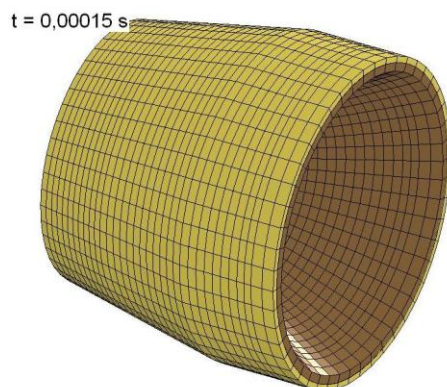


Rys. 6. Przekrój poprzeczny pancerza i głowy pocisku dla chwili czasowej $t = 0,00023$ s – wariant I

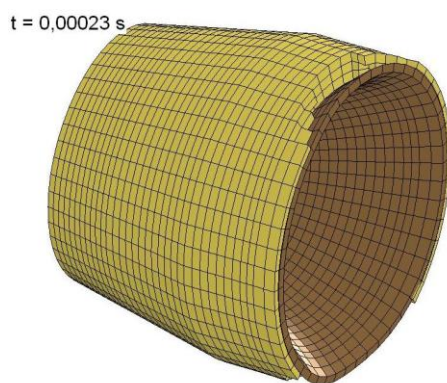
Nieznaczny wpływ uderzenia pocisku w kątowniki ma swoje odzwierciedlenie w odkształceniach wkładki kumulacyjnej i zniszczeniu materiału wybuchowego (rys. 7 – 10), kluczowych elementów z punktu widzenia powstawania strumienia kumulacyjnego. Na załączonych rysunkach (rys. 7 - 10) praktycznie niezauważalne są zmiany w geometrii wkładki kumulacyjnej, a pocruszenie materiału wybuchowego wynosi tylko ok. 4 %.



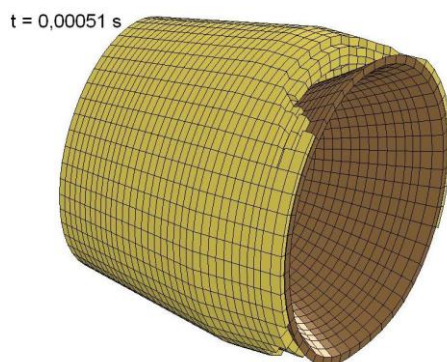
Rys. 7. Materiał wybuchowy i wkładka kumulacyjna ($t = 0,00007$ s) – wariant I



Rys. 8. Materiał wybuchowy i wkładka kumulacyjna ($t = 0,00015$ s) – wariant I

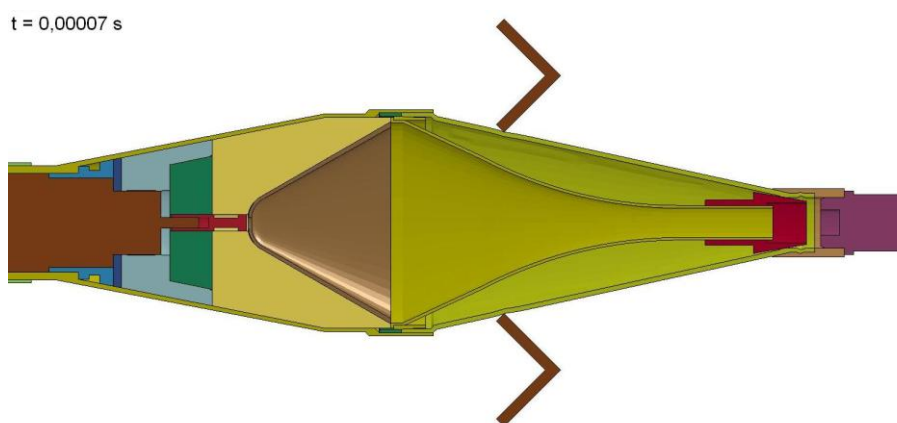


Rys. 9. Materiał wybuchowy i wkładka kumulacyjna ($t = 0,00023$ s) – wariant I

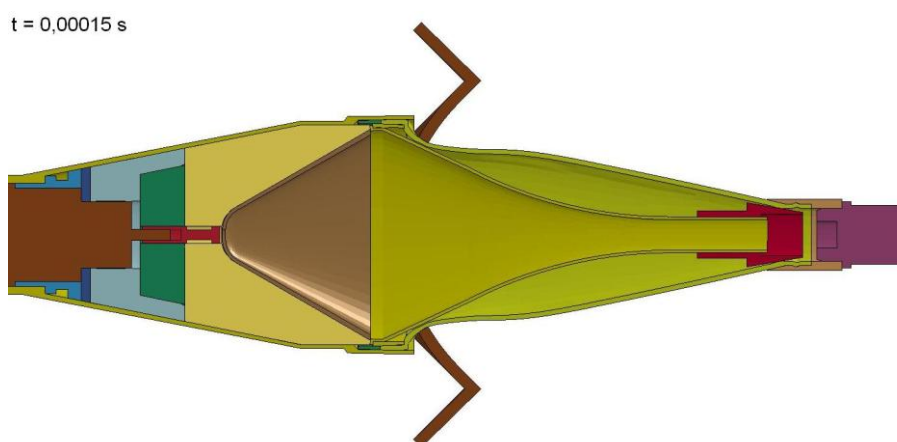


Rys. 10. Materiał wybuchowy i wkładka kumulacyjna ($t = 0,00051$ s) – wariant I

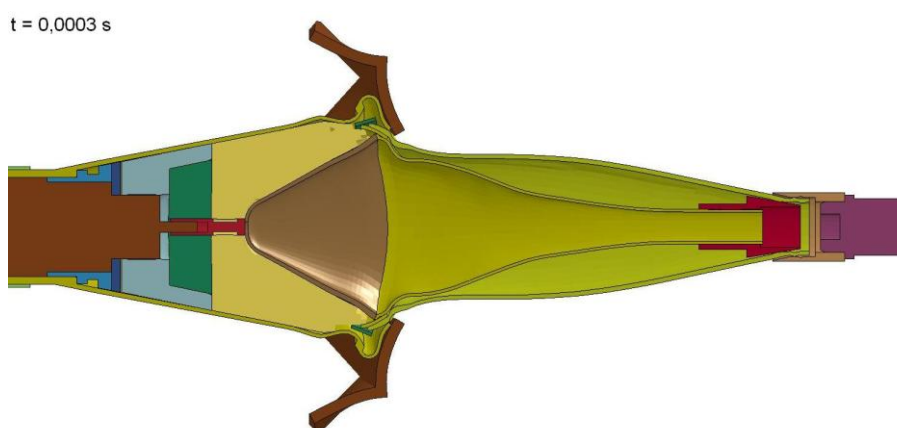
Znacznie większe uszkodzenia pocisku powoduje uderzenie w kątowniki ustawione zgodnie z wariantem II (rys. 3). Na rysunkach 11 i 12 widzimy, że w początkowym etapie analizy zginiaty jest na kierunku promieniowym czepiec balistyczny. Jednocześnie są odginane zgodnie z kierunkiem lotu pocisku, ramiona kątownika, co w tym przypadku powoduje zmniejszenie prześwitu pomiędzy prętami. Następnie (rys. 12 i 13) wewnętrzne ramiona kątownika uderzają w podstawę korpusu głowicy zrywając połączenie gwintowe pomiędzy tą częścią i czepcem balistycznym. Po zerwaniu połączenia w wyniku zginięcia powierzchnia korpusu głowicy staje się pofałdowana i wnika do wnętrza głowy pocisku krusząc materiał wybuchowy.



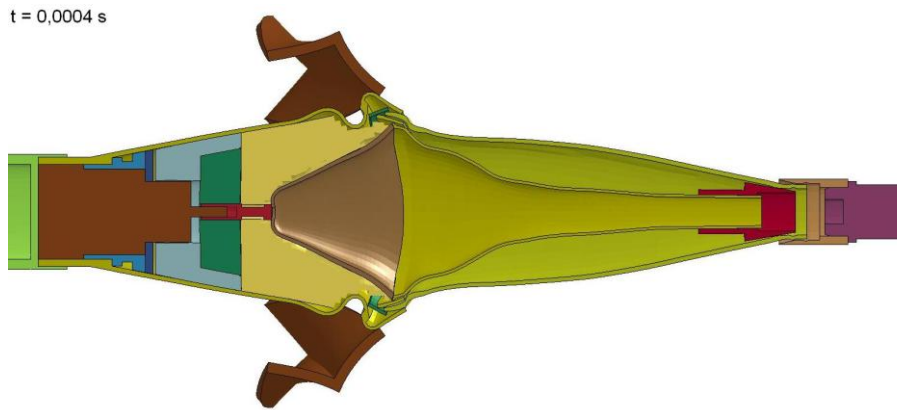
Rys. 11. Przekrój poprzeczny pancerza i głowy pocisku dla chwili czasowej $t = 0,00007 \text{ s}$ – wariant II



Rys. 12. Przekrój poprzeczny pancerza i głowy pocisku dla chwili czasowej $t = 0,00015 \text{ s}$ – wariant II

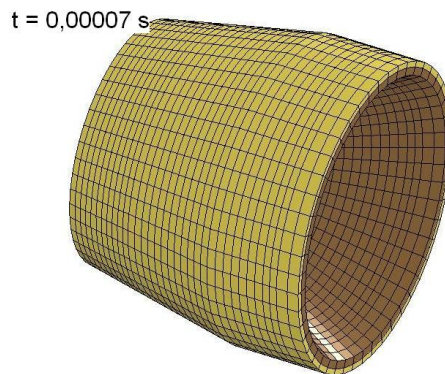


Rys. 13. Przekrój poprzeczny pancerza i głowy pocisku dla chwili czasowej $t = 0,0003 \text{ s}$ – wariant II

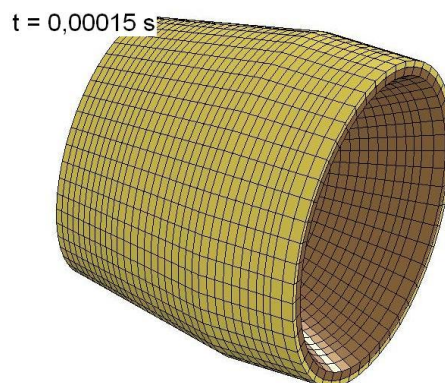


Rys. 14. Przekrój poprzeczny pancierza i głowy pocisku dla chwili czasowej $t = 0,0004 \text{ s}$ – wariant II

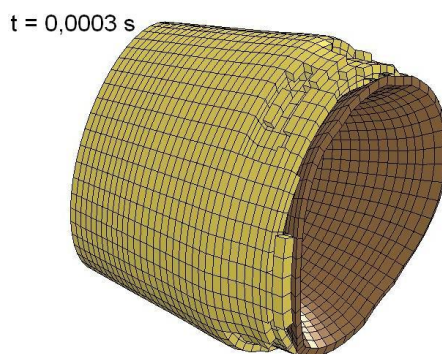
Zgniatanie i fałdowanie korpusu głowicy jest główną przyczyną uszkodzenia elementów znajdujących się we wnętrzu pocisku. Na rysunkach 15 – 19 przedstawiono widok materiału wybuchowego i wkładki kumulacyjnej dla wybranych chwil czasowych analizy. Widać na nich rosnące odkształcenie wkładki oraz zwiększające się kruszenie materiału wybuchowego (ostatecznie wykrusza się ok. 29 % objętości materiału).



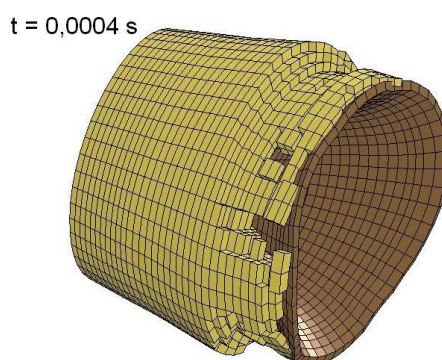
Rys. 15. Materiał wybuchowy i wkładka kumulacyjna ($t = 0,00007 \text{ s}$) – wariant II



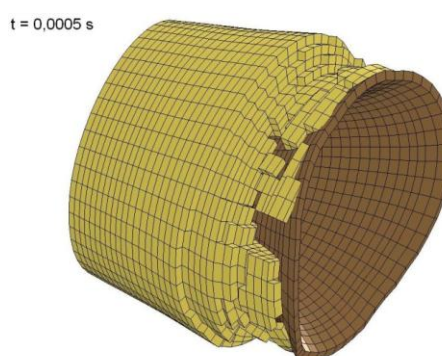
Rys. 16. Materiał wybuchowy i wkładka kumulacyjna ($t = 0,00015 \text{ s}$) – wariant II



Rys. 17. Materiał wybuchowy i wkładka kumulacyjna ($t = 0,0003$ s) – wariant II



Rys. 18. Materiał wybuchowy i wkładka kumulacyjna ($t = 0,0004$ s) – wariant II



Rys. 19. Materiał wybuchowy i wkładka kumulacyjna ($t = 0,0005$ s) – wariant II

5 Wnioski

Na podstawie załączonych wyników można stwierdzić, że ustawienie prętów zgodnie z wariantem II jest lepsze z punktu widzenia niszczenia głowicy z ładunkiem kumulacyjnym. Przewaga tego ustawienia wynika głównie z większego odkształcenia wkładki kumulacyjnej oraz większego zniszczenia materiału wybuchowego (w wariantcie I uległo ok. 4 % objętości początkowej, w drugim zaś 29 %). Różnica ta bierze się głównie z zachowania pręta podczas kontaktu z pociskiem. W pierwszym przypadku stykające się ramię kątownika odginane jest na zewnątrz pocisku, co skutkuje zwiększeniem prześwitu pomiędzy prętami, a tym samym mniejszym zgniataniem obudowy pocisku. W drugim przypadku ramię kątownika odginane jest do środka, prześwit jest zmniejszany, a zgniatanie pocisku większe.

Ogromne znaczenie ma również fakt, że w drugim przypadku korpus głowicy uderza nie w płaską powierzchnię (wariant I), ale w ostrą krawędź kątownika. Jest to główną przyczyną zniszczenia połączenia gwintowego oraz fałdowania korpusu głowicy uszkodzającego wkładkę kumulacyjną i materiał wybuchowy.

Literatura

1. A.Wiśniewski: *Pancerze budowa, projektowanie i badanie*. WNT, Warszawa 2001.
2. J.O.Hallaquist: LS-Dyna. *Theoretical manual*, Livermore Software Technology Corporation, California, 2005.