

WSTĘPNA ANALIZA ZJAWISKA RYKOSZETOWANIA WYDŁUŻONYCH PENETRATORÓW POCISKÓW KINETYCZNYCH

Streszczenie. W pracy, na podstawie krytycznej analizy literatury problemu, przedstawiono wstępną charakterystykę zjawiska rykoszetowania i niszczenia wydłużonych pocisków podkalibrowych na pochylonych pancerzach. Określono wpływ kąta podejścia pocisku do płyty oraz konstrukcji pancerza na proces penetracji pociskiem podkalibrowym.

INITIAL IDENTIFICATION OF THE ELONGATED PENETRATORS RICOCHETS

Abstract. In this paper the problem of the elongated penetrators ricochets during penetration of the oblique plates are presented. Conclusions about the influence of the pitch angle and armour profile to penetration process were formulated basing on the critical review of the literature.

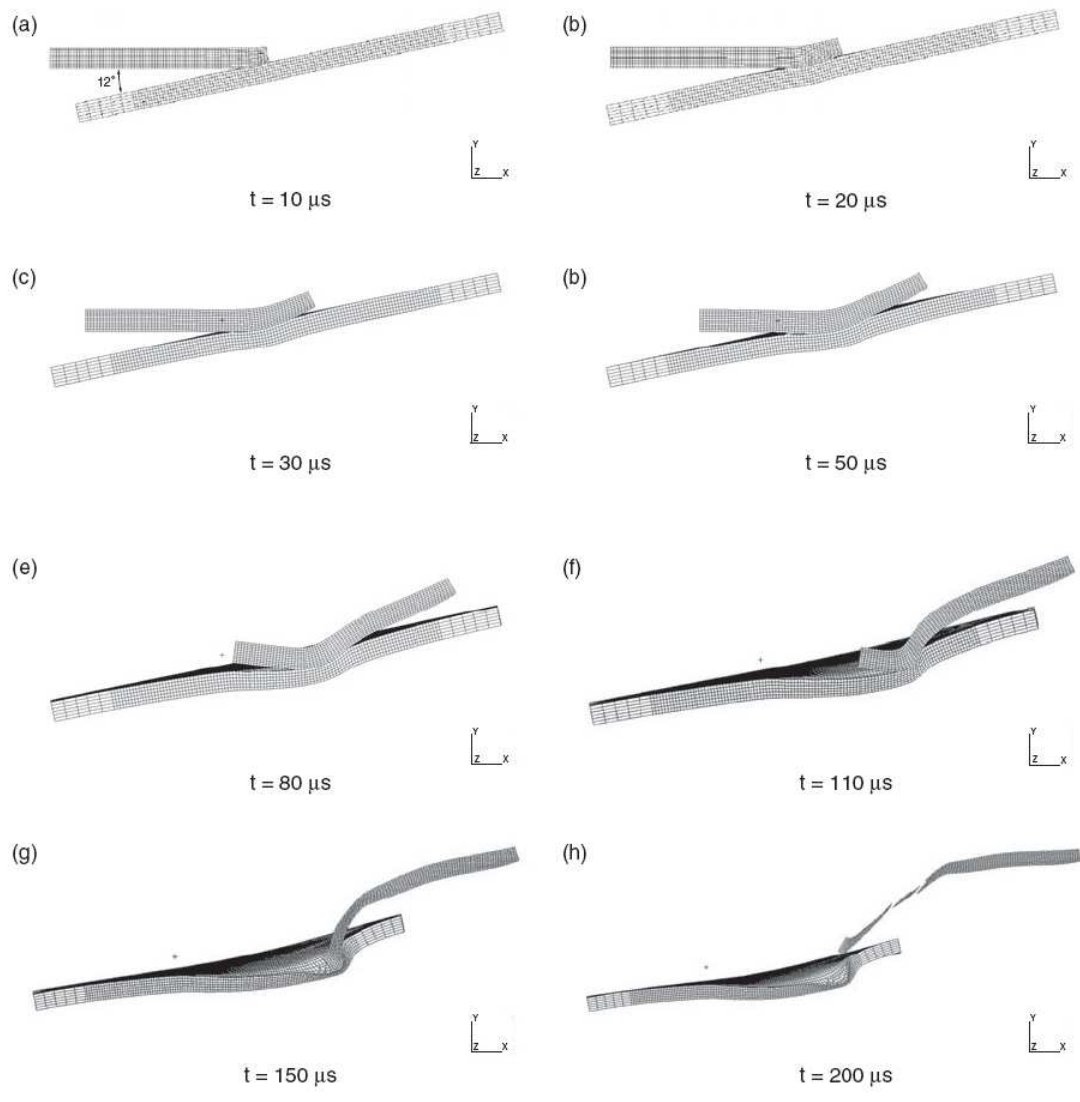
1. Analiza problemu

Nawiązując do tematyki rykoszetowania wydłużonych pocisków podkalibrowych podczas uderzenia w pochylony pancerz, autor osobiście zaobserwował to zjawisko podczas prowadzenia ostrzału modelu pancerza kompozytowego czołgu PT-91M ustawionego pod kątem 68° od normalnej, 120 mm pociskami DM-33A1 wystrzeliwanymi z odległości 600 m z czołgu LEOPARD 2A4 [1]. Na rys.1 przedstawiono wyniki ostrzału modelu pancerza z efektem częściowej penetracji i odbicia się penetratora (lub jego części) od pancerza. Penetrator pocisku DM-33A1 częściowo spenetrował warstwę pancerza reaktywnego ERAWA zewnętrzną warstwę stalową pancerza zasadniczego, a następnie jego pozostałość odbiła się od pancerza i uderzyła w wieżę modelu czołgu.



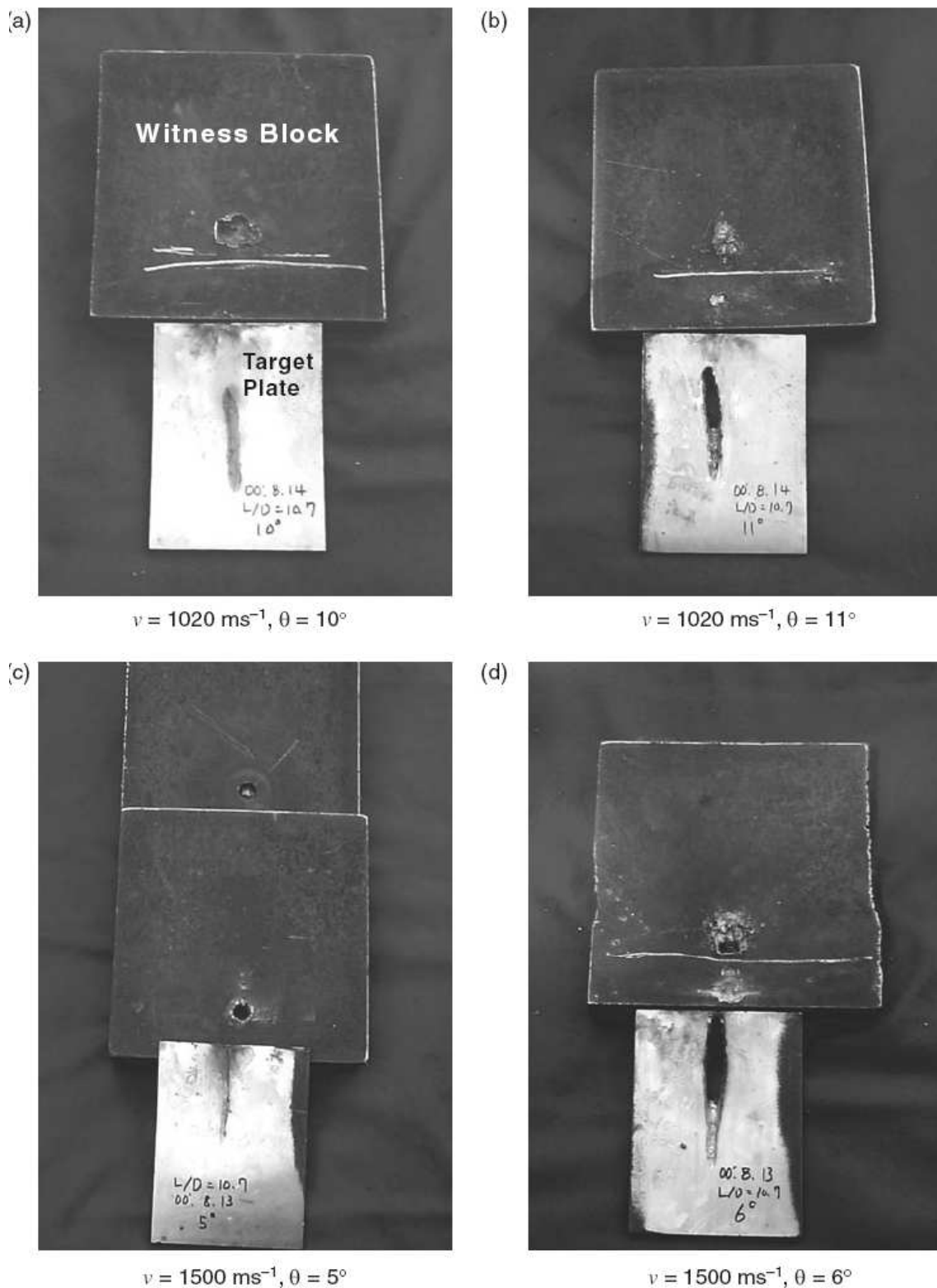
Rys. 1. Rykoszetowanie pocisku DM-33A1 od modelu pancerza czołgu PT-91M [1].

W pracy [2] autorzy przeprowadzili symulacje zderzenia wydłużonego penetratora wykonanego ze spieku na osnowie wolframowej w płytę pancerną RHA i płytę ze stali S-7 (narzędziowej). Symulacje przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania MSC/DYTRAN opartego na metodzie elementów skończonych. Pociski o długości $l=75$ mm i średnicy $d=7$ mm uderzały z prędkościami od 1000m/s do 2000m/s w płytę RHA o grubości 6,25 mm, ustawioną pod kątami od 3° do 25° . Na rysunku 2 przedstawiono wyniki symulacji dla prędkości uderzenia 1000 m/s i kąta pochylenia płyty RHA równego 12° .



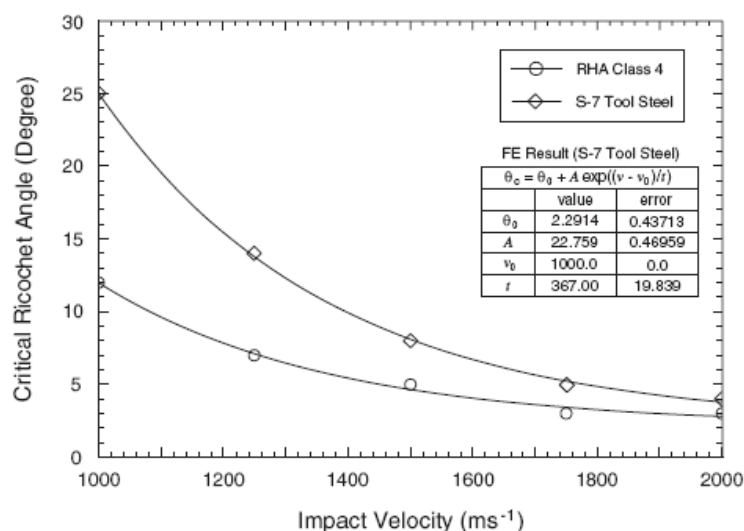
Rys. 2. Wyniki symulacji dla prędkości uderzenia 1000 m/s i kąta pochylenia płyty RHA równego 12°[2]

Następnie symulacje numeryczne zostały zweryfikowane poprzez badania eksperymentalne. Ich wyniki zaprezentowano na rys.3.



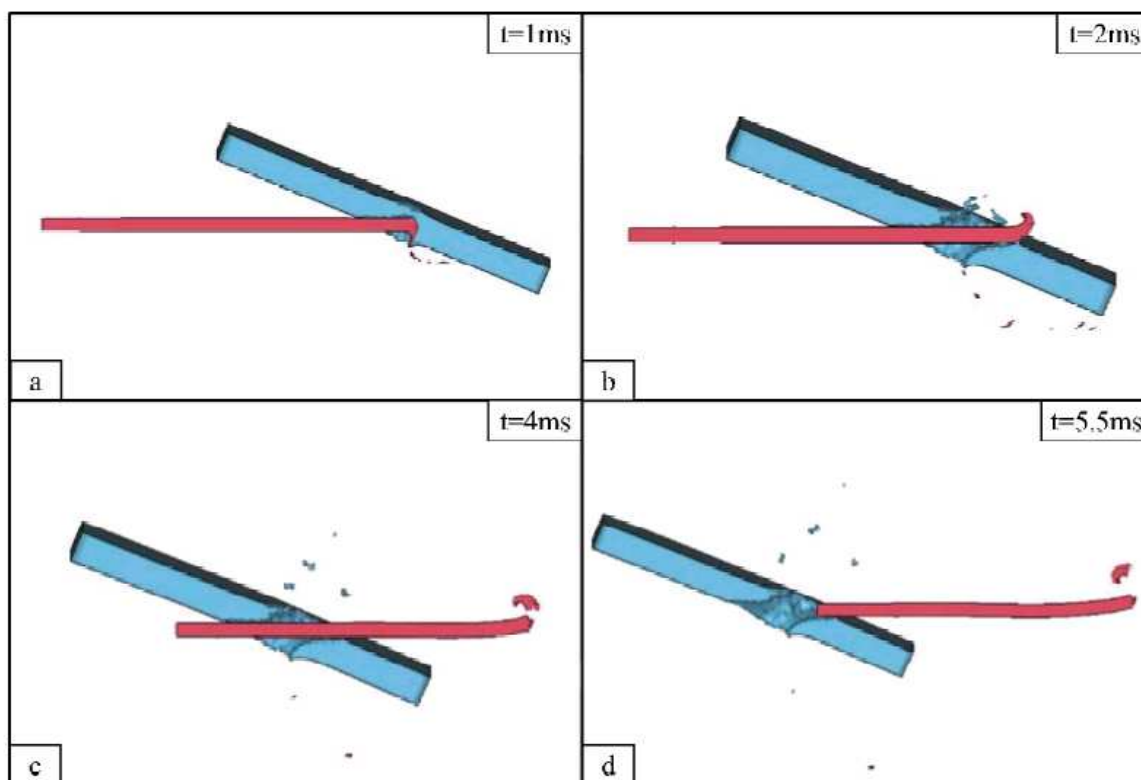
Rys. 3. Wyniki badań strzelaniem dla różnych prędkości uderzenia i kątów pochylenia płyty RHA [2]

Na podstawie wyników symulacji numerycznych i badań eksperymentalnych autorzy opracowali wykres przedstawiający zależność kątów pochylenia płyty (dla których zachodzi rykoszetowanie) w funkcji prędkości uderzenia pocisku (rys. 4).



Rys. 4. Zależność kątów pochylenia płyty (dla których zachodzi rykoszetowanie) w funkcji prędkości uderzenia pocisku [2]

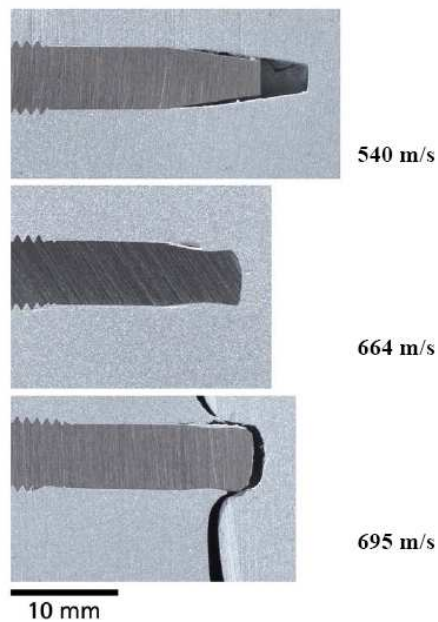
W pracy [3] autorzy rozpatrują problematykę wpływu kąta podejścia pocisku do pochylonej płyty na proces jej penetracji (rys.5).



Rys. 5. Wyniki symulacji dla kąta podejścia pocisku do płyty +1° [3]

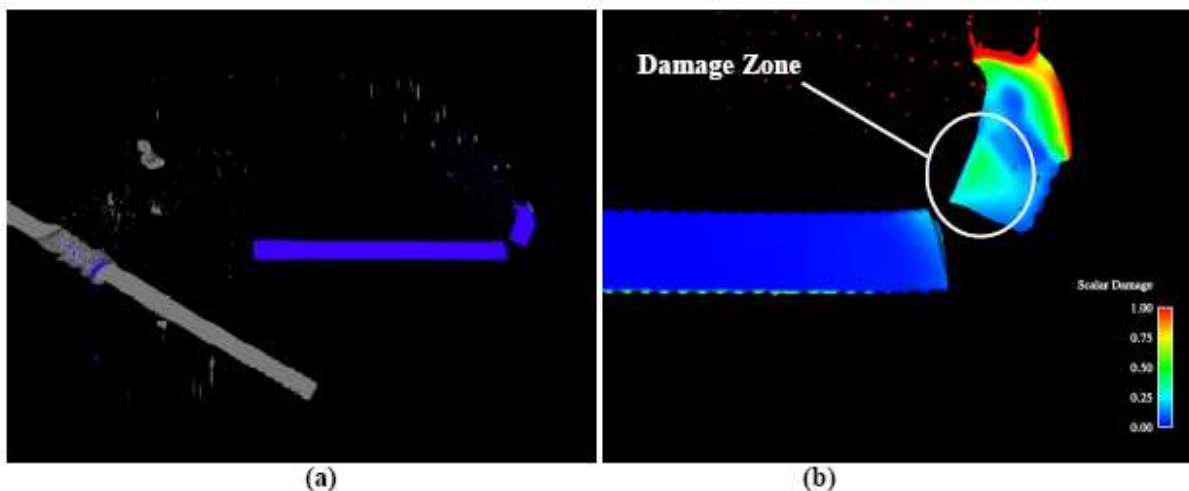
Na podstawie przeprowadzonych symulacji (przy użyciu oprogramowania LS-DYNA) i wyników badań eksperymentalnych procesów penetracji płyt o małej grubości i dużym kącie pochylenia autorzy, w podsumowaniu, stwierdzili duże prawdopodobieństwo fragmentacji penetratora dla znacznych wartości kąta podejścia do płyty oraz podkreślili potrzebę możliwie największej redukcji kąta podejścia pocisku do płyty celem zminimalizowania obciążeń zginających generowanych w penetratorze.

Autor pracy [4] rozpatrując zjawisko penetracji wydłużonymi pociskami wykonanymi ze spieku na osnowie wolframowej płyt wykonanych ze stopu aluminium 7020, zwrócił uwagę na końcowy kształt wierzchołka pocisku (początkowo stożkowy) ulegającego stępieniu wraz ze zwiększaniem prędkości uderzenia w płytę i transformacji penetratora w procesie penetracji od pręta sztywnego do stanu hydrodynamicznego. Wystąpienie deformacji plastycznych stożka penetratora zaobserwowano dla prędkości około 660 m/s (rys.6). Identyfikacja tego zjawiska wskazuje na konieczność uwzględnienia podczas projektowania nowego pocisku podkalibrowego kształtu czola penetratora.

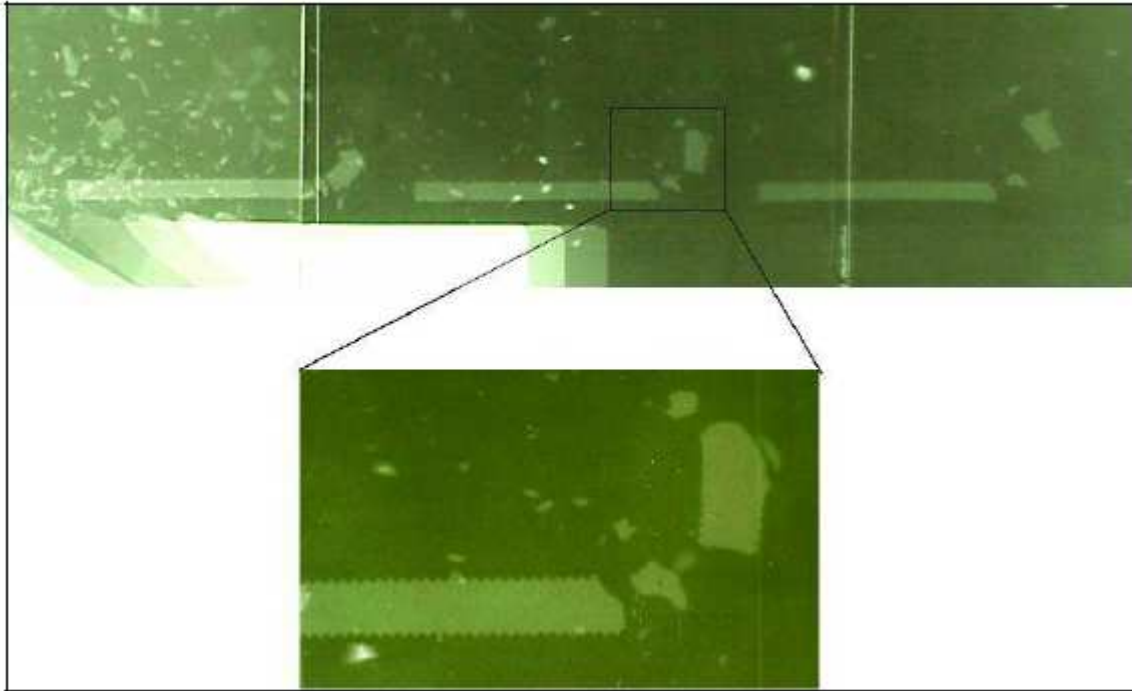


Rys. 6. Identyfikacja zjawiska uplastycznienia się czola penetratora podczas procesu penetracji stopu 7020 wraz ze wzrostem prędkości uderzenia [4]

W pracy [5] rozpatrywane jest zjawisko niszczenia (kruszenia się) czola penetratora podczas zderzenia i penetracji płyty pochylonej pod kątem 60° od normalnej. Używając oprogramowania 3D CTH, autora analizował zjawisko niszczenia przedniej części penetratora (rys.7), a następnie wyniki symulacji zweryfikował eksperymentalnie (rys.8).



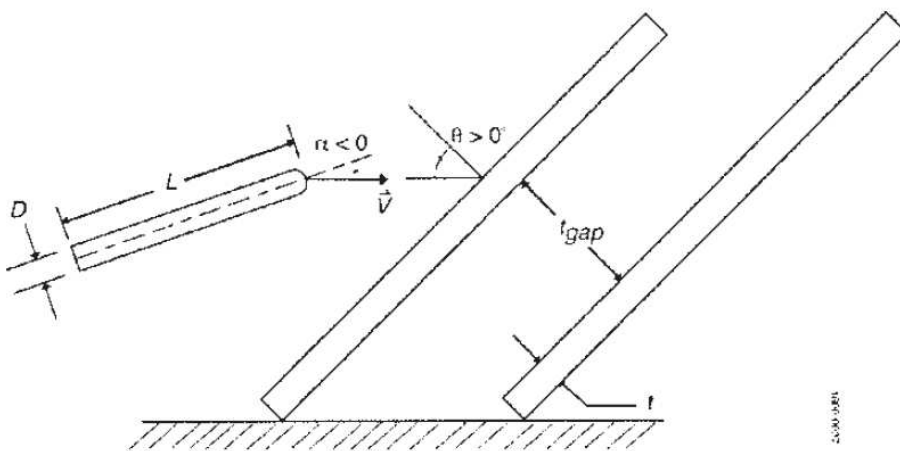
Rys. 7. Numeryczna analiza niszczenia czola penetratora podczas zderzenia z pochyloną płytą [5]



Rys. 8. Eksperymentalna weryfikacja zjawiska niszczenia przedniej części penetratora podczas zderzenia z pochyloną płytą [5]

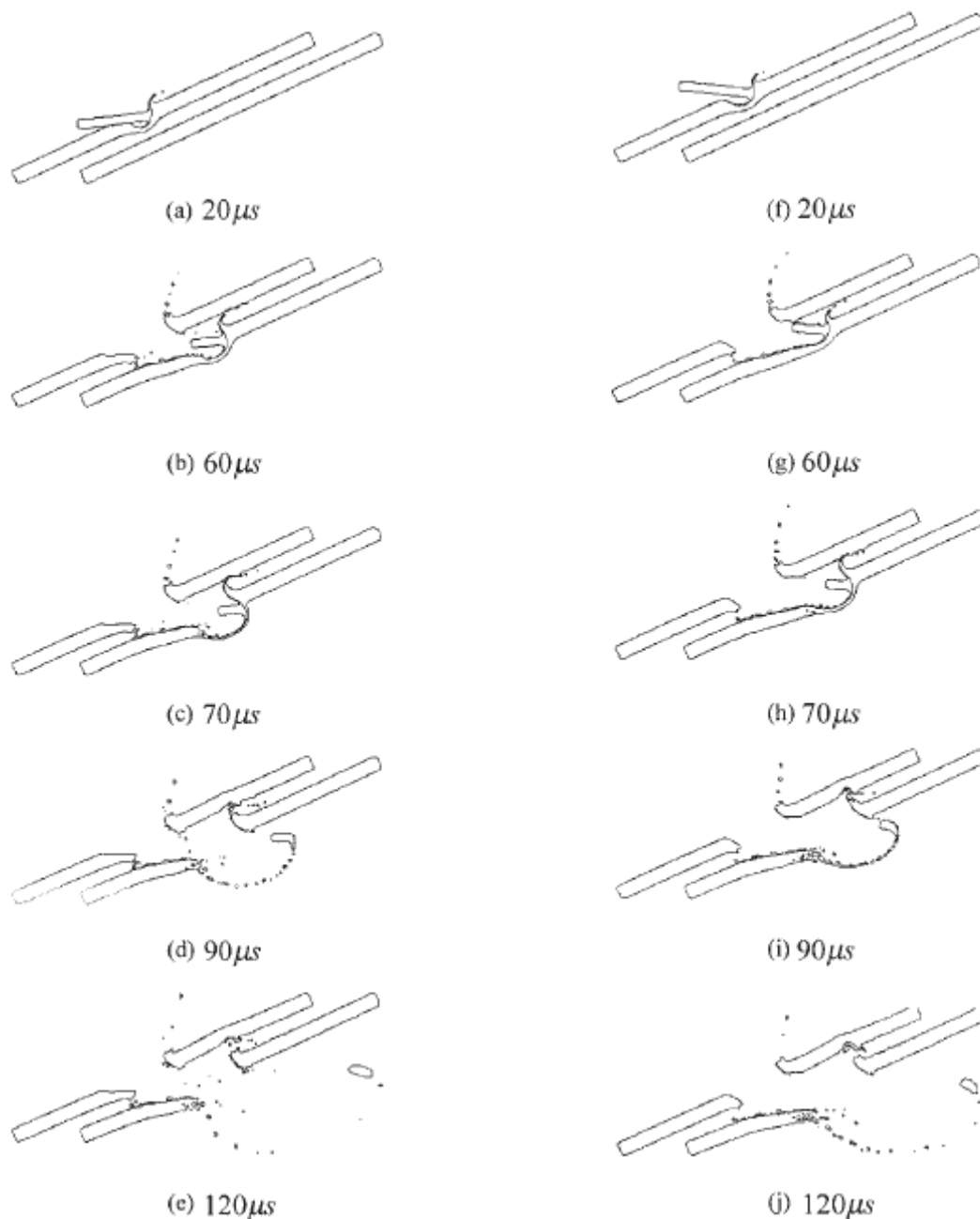
Z powyższego wynika, że jednorodne penetratory pocisków kinetycznych mogą ulegać znacznym uszkodzeniom podczas penetracji płyt o niewielkiej grubości a dużym kącie pochylenia. Można przyjąć założenie, że celem rozwiązania tego problemu można zastosować konstrukcję segmentową penetratora, która będzie charakteryzować się zwiększoną podatnością na obciążenia zginające zachowując spójność konstrukcji pocisku podczas penetracji.

W pracy [6] zaprezentowano m.in. wyniki symulacji porównawczej procesu penetracji dwóch pochylonych płyt RHA (kąt 65° od płaszczyzny podłoża) pociskami ze spieku na osnowie wolframowej ($l/d=10, v_{ud}=2600\text{m/s}$). Badany układ przedstawiono na rys.9.



Rys. 9. Zasymulowany w pracy [6] układ badawczy

Szczególnie ciekawa, z punktu widzenia penetracji nowoczesnych pancerzy wieloelementowych, jest symulacja porównawcza dla kątów podejścia pocisku do płyty równych $+6^\circ$ i -6° . Jej wyniki przedstawiono na rys.10.

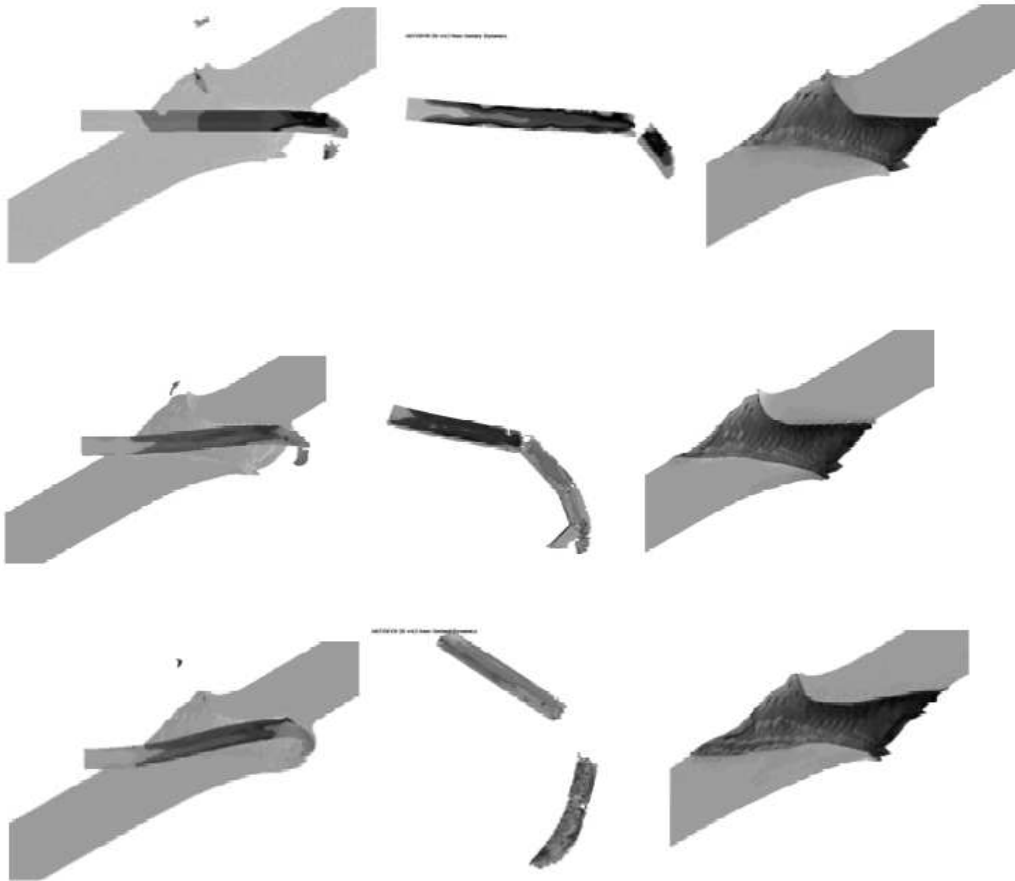


Rys.10. Wyniki symulacji dla dwóch różnych kątów podejścia pocisku do płyty $+6^\circ$ (a-e) i -6° (f-j) [6]

Szczególnie dla kąta podejścia pocisku do płyty równego $+6^\circ$ zauważalna jest tendencja do redukcji kąta odchylenia osi pocisku od wektora prędkości. Zjawisko to świadczy o tendencji pocisku do penetracji silnie pochylonych pancerzy w sposób nieliniowy. W tym przypadku dla płyt RHA o dużej grubości krater po penetracji pocisku przybiera charakter łukowy z widoczną tendencją skracania drogi penetracji w kierunku tylnej powierzchni pancerza (otwór wylotowy). W przypadku pochylonych pancerzy warstwowych (dla różnych kombinacji warstw pancerza np. stal- powietrze-ceramika-stal-laminat) penetrator pocisku w procesie penetracji podlega zmiennym obciążeniom, wymuszającym zmianę kierunku ruchu penetratora pocisku w różnych

kierunkach, co może skutkować generowaniem naprężeń zginających o wartościach powodujących jego zniszczenie (pęknięcie).

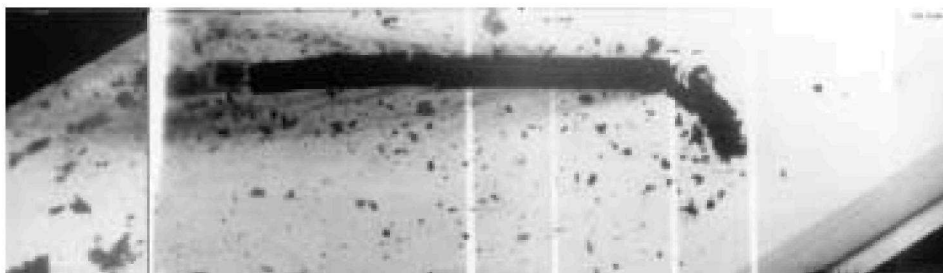
Podobne symulacje wykonano w pracy [7] dla różnych kątów podejścia (0° , 1° , $2,4^\circ$) pocisku ($l/d=20$, $m_p=75$ g, $v_u=1600$ m/s) do pojedynczej płyty RHA (single-plate NATO 60°- HV20=303, grubość 40 mm).

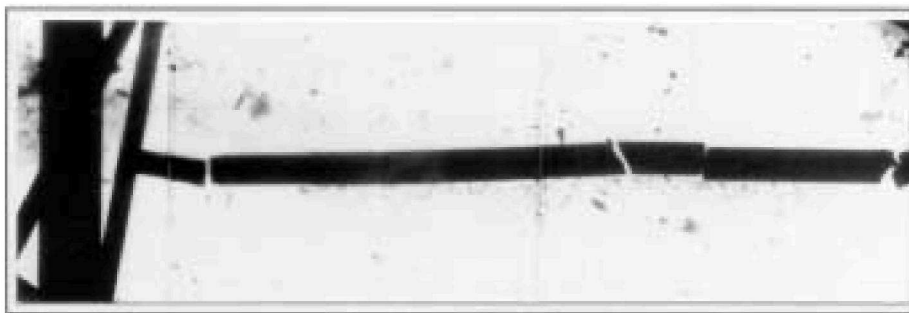


Rys.11. Wyniki symulacji dla kątów podejścia pocisku do płyty – od góry 0° , 1° , $2,4^\circ$ [7]

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono znaczny wpływ wartości kąta podejścia penetratora do płyty na naprężenia zginające w penetratorze, które w efekcie końcowym powodowały jego fragmentację tym silniejszą im większy był kąt podejścia (rys.11).

W pracy [8] autorzy przedstawili m.in. wyniki ostrzału modelu pancerza warstwowego (o bliżej nieokreślonej konstrukcji- „sandwich”) pociskami o stosunku l/d równym 20 i 30 ze 120 mm armaty czołowej.





Rys.12. Wyniki badania penetracji pancerza warstwowego dla penetratorów $l/d=20$ (u góry) i $l/d=30$ (u dołu) [8]

Wyniki badań przedstawiono na rys.12. Potwierdzają one wcześniej przyjęte założenie, że penetratory jednorodny podczas penetracji pancerzy warstwowych ulegają zmiennym obciążeniom generującym naprężenia, zginające, ściskające, ścinające, których wartości powodując fragmentacje (łamanie) penetratora.

2. Wnioski

Na podstawie krytycznej analizy problemu sformułowano następujące wnioski:

1. Dla znacznych wartości kąta podejścia pocisku ($>1^\circ$) do pochylonej płyty (od 60° od normalnej) istnieje duże prawdopodobieństwo rykoszetu lub fragmentacji przedniej części penetratora.
2. Kształt wierzchołka pocisku (początkowo stożkowy) może ulegać stopniowi wraz ze zwiększaniem prędkości uderzenia w płytę i transformacji penetratora w procesie penetracji od pręta sztywnego do stanu hydrodynamicznego. Identyfikacja tego zjawiska wskazuje na konieczność uwzględnienia podczas projektowania nowego pocisku podkalibrowego kształtu czoła penetratora.
3. W przypadku penetracji pochylonych pancerzy warstwowych (dla różnych kombinacji warstw pancerza np. stal- powietrze-ceramika-stal-laminat) penetrator pocisku w procesie penetracji podlega zmiennym obciążeniom, wymuszającym zmianę kierunku ruchu penetratora pocisku w różnych kierunkach, co może skutkować generowaniem naprężeń zginających o wartościach powodujących jego zniszczenie (pęknięcie),
4. Można przyjąć założenie, że celem rozwiązania w/w problemów można zastosować konstrukcję segmentową penetratora, która będzie charakteryzować się zwiększoną podatnością na obciążenia zginające zachowując spójność konstrukcji pocisku podczas penetracji

Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2009-201 jako projekt badawczy własny nr O N501 052937.

Literatura

- [1] Magier M., Kuśnierz T.: Sprawozdanie z badań strzelaniem amunicją z pociskiem DM-33 z czołgu LEOPARD 2A4 do modelu czołgu PT-91M. Niepublikowane sprawozdanie z badań, Archiwum WITU, 2009.

- [2] Lee W., Lee H.J., Shin H.: Ricochet of a tungsten heavy alloy long-rod projectile from deformable steel plates. *J. Phys. D: Applied Physics*, vol. 32, pp. 2676-2686, 2002.
- [3] Arad M., Touati D., Latovitz I.: The relation between initial yaw and long rod projectile shale after penetrating an oblique thin plate, 4th European LS-DYNA Users Conference, 22-23 May 2003, Ulm, Germany, 2003.
- [4] Wickert M.: Penetration data for a medium caliber tungsten sinter alloy penetrator into aluminum alloy 7020 in the velocity regime from 250 m/s to 1900 m/s. *Materiały z 23 Międzynarodowego Sympozjum Balistycznego 23 ISB*, 16-20 kwietnia 2007r., Tarragona, Hiszpania, 2007.
- [5] Anderson R.L.: Fracture of grooved kinetic energy rods subject to oblique impact. ARL-TR-3923, U.S. Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD 21005-5066, September 2006.
- [6] Gee D.J.: Oblique plate perforation by slender rod projectiles, *Materiały z 19 Międzynarodowego Sympozjum Balistycznego*, Interlaken-Szwajcaria, 7–1 maja 2001, s. 1123-1132, 2001.
- [7] Heider N., Weber K., Weidemaier P.: Experimental and numerical simulation analysis of the impact process of structured KE penetrators onto semi-infinite and oblique plate targets, Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, Freiburg, Germany.
- [8] Diederer A.M., Hoeneveld J.C.: Replica scale modeling of long rod tank penetrators, *Materiały z 19 Międzynarodowego Sympozjum Balistycznego*, Interlaken-Szwajcaria, 7–1 maja 2001, s. 1231-1239, 2001.