

Cezary GALIŃSKI

ZASADY DZIAŁANIA PODSTAWOWYCH TYPÓW POCISKÓW PRZECIWPANCERNYCH

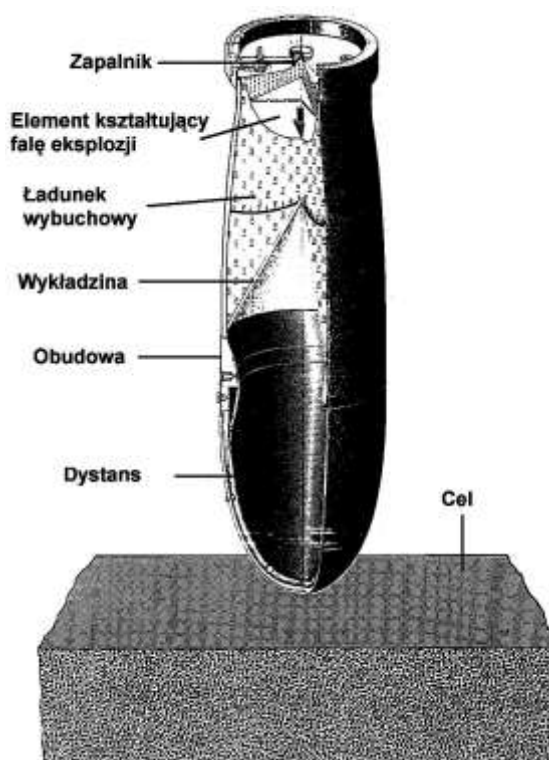
Streszczenie: Artykuł omawia zasady działania podstawowych rodzajów pocisków przeciwpancernych. Opracowany został w oparciu o materiały ze szkolenia Survivability of Armoured Vehicles.

1. WSTĘP

W historii ludzkich konfliktów szczególne znaczenie odgrywała zawsze konkurencja pomiędzy stosowanymi pociskami a ochroną balistyczną. Szczególnego tempa konkurencja ta nabrała wraz z pojawieniem się, w czasach I wojny światowej, czołgów. Ich pancerz początkowo chronić miał załogę przed prostą bronią lufową małego kalibru i odłamkami artyleryjskimi. Skuteczność czołgów spowodowała jednak gwałtowny rozwój wyspecjalizowanych broni przeznaczonych do ich zwalczania. Już w czasie II wojny światowej istniały dwa podstawowe rodzaje pocisków przeciwpancernych: pociski podkalibrowe i pociski z ładunkiem kumulacyjnym. W czasach powojennych oba te typy pocisków były doskonalone w takim tempie, że obecnie nie można zaprojektować chroniącego przed nimi, jednolitego pancerza, mającego masę umożliwiającą stosowanie go w pojazdach lądowych. Praktycznie każdy nowoczesny pancerz musi w sposób aktywny przeciwdziałać penetracji. Aby jednak zaprojektować go prawidłowo, trzeba poznać zasady działania pocisków i ich ograniczenia. Niniejszy artykuł przypomina te zasady i przedstawia współczesne ich rozumienie.

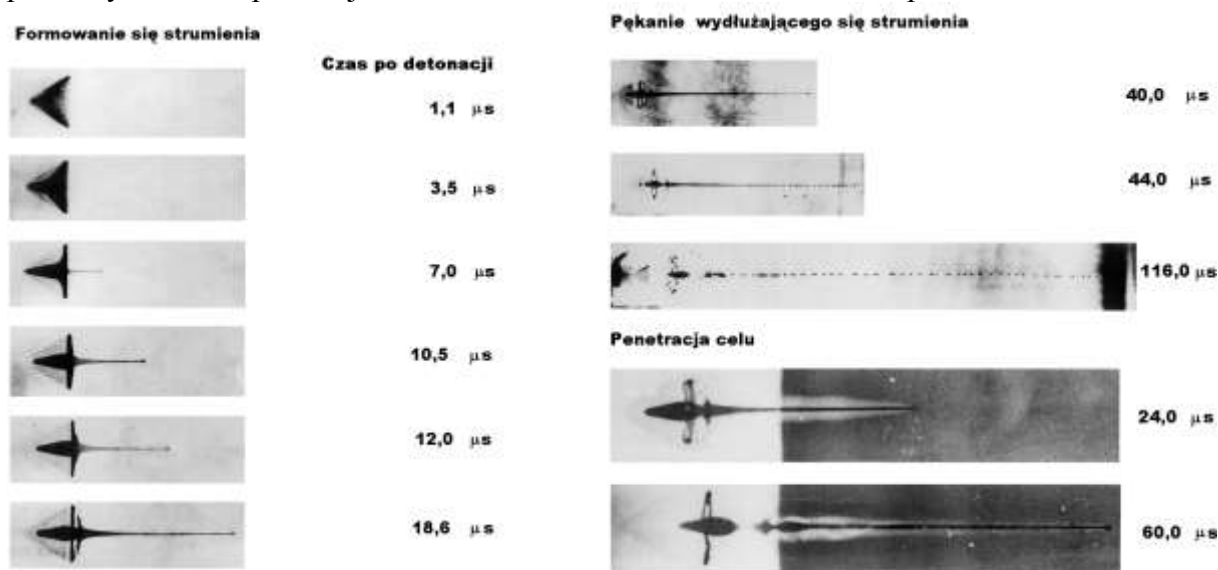
2. ŁADUNEK KUMULACYJNY

Pocisk kumulacyjny przedstawiony jest na rys.1. Po aktywacji, eksplodujący ładunek wybuchowy wytwarza falę uderzeniową, która odkształca wykładzinę (rys.2). Wykładzina najczęściej wykonana jest z miedzi. Jest ona przyspieszana w kierunku osi ładunku, gdzie zostaje zgnieciona w osiowo symetryczną bryłkę. Z tej bryłki wydostaje się strumień kumulacyjny, składający się z 10-20% masy wykładziny. Szczyt strumienia osiąga przy tym prędkość ponad 9 km/s. Pozostała część bryłki osiąga prędkość 0,3-1 km/s. Oznacza to znaczny gradient prędkości pomiędzy szczytem strumienia a pozostałością. Gradient ten powoduje znaczne wydłużenie względne materiału wykładziny wzdłuż osi pocisku. Może ono dochodzić nawet do 2000 %. Tak duże wydłużenie jest oczywiście zjawiskiem niestabilnym. W



Rys. 1. Pocisk kumulacyjny (MBB).

związku z tym po osiągnięciu maksymalnego wydłużenia lub po upływie pewnego charakterystycznego czasu strumień ulega fragmentacji. Po fragmentacji suma długości powstałych drobin pozostaje stała. Wszelkie nieosiowości w budowie pocisku



Rys. 2. Różne etapy rozwoju strumienia kumulacyjnego (TDW).

powodują jednak stopniowe rozproszenie się drobin. Ten sam efekt wywołuje ich nieregularny kształt, powodujący ich rotację i wytracanie prędkości. Na pewnym etapie rozwoju strumień uderza w pancierz celu. Ciśnienie spiętrzenia na szczycie strumienia kumulacyjnego przekracza ponad 100 GPa, czyli prawie 100-krotnie wytrzymałość najmocniejszych znanych materiałów. W związku z tym materiały zarówno strumienia, jak i pancerza oddziałują ze sobą tak, jakby znajdowały się w stanie płynnym. Początkowo prędkość tworzenia się krateru może osiągać nawet 4 km/s. Przy tak ogromnej prędkości, bezwładność cieplna jest zbyt duża, aby mogło dojść do wzrostu temperatury pancerza jest on więc wypłukiwany na zasadzie erozji hydrodynamicznej [1]. Na tym etapie głębokość penetracji jest w pierwszym przybliżeniu proporcjonalna do długości zerodowanego strumienia kumulacyjnego. Po pewnym czasie, gdy szczytowa część strumienia jest już zerodowana, dalszą penetrację kontynuują tylne fragmenty strumienia kumulacyjnego i pozostałości

wykładziny poruszające się ze znacznie mniejszą prędkością. Na tym etapie swoją rolę zaczynają już odgrywać wytrzymałości materiałów, a sam proces odbywa się na tyle powoli, aby mogło dojść do wzrostu temperatury. Zależność zaś głębokości penetracji od długości zerodowanego strumienia staje się nieliniowa. Średnia prędkość penetracji osiąga około 1,5 km/s, a czas oddziaływania dochodzi do 400 μs. Dla porównania czas oddziaływania zwykłego ładunku wybuchowego o tej samej średnicy, będącego w kontakcie z pancerzem nie przekracza 10 μs. Właśnie zdolność do

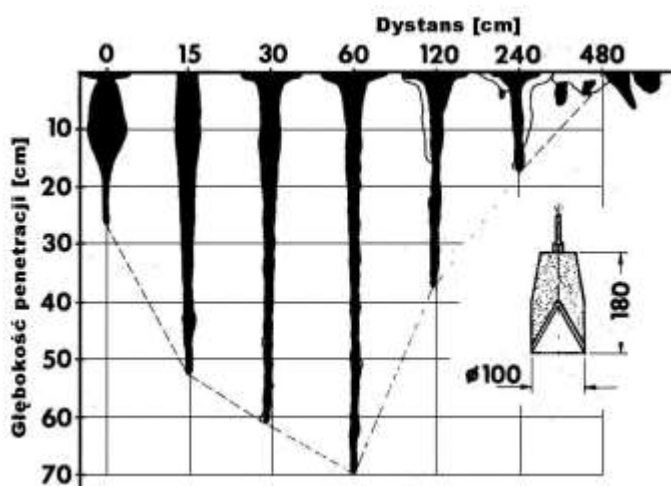


Rys. 3. Krater utworzony przez strumień kumulacyjny w bloku stalowym. (fot. C. Galiński)

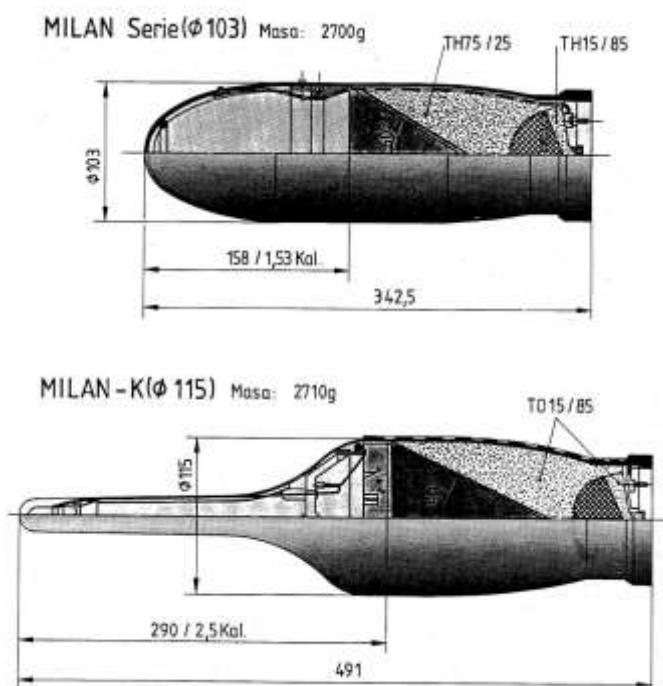
bardzo długotrwałego oddziaływania w połączeniu z dużą prędkością i koncentracją energii wzdłuż osi pocisku powodują tak znaczną głębokość penetracji. Z drugiej jednak strony penetracji dokonuje stosunkowo mała ilość materiału wykładziny. Utworzony krater ma więc małą średnicę rzędu kilku milimetrów (rys. 3) i zazwyczaj nie wywołuje żadnych efektów po drugiej stronie pancerza, takich jak odrywanie się odłamków pancerza, fala uderzeniowa, efekty cieplne, świetlne czy też wytwarzanie trujących gazów. Głównym niebezpieczeństwem jest natomiast bezpośrednio trafienie w żywotne elementy czołgu, takie jak amunicja, paliwo czy też instalacje hydrauliczna i elektryczna. Ze względu na ciasne rozmieszczenie systemów czołgu jest to zagrożenie nadzwyczaj poważne.

Maksymalną głębokość penetracji ładunek osiąga, gdy jest aktywowany w przybliżeniu w takiej odległości od pancerza, aby szczyt strumienia uderzył w pancerz tuż po fragmentacji. Jeśli ładunek jest aktywowany bliżej, to strumień uderza w pancerz zanim całkowicie się uformuje i jego zdolność penetracji jest mniejsza. Jeśli zaś ładunek aktywuje się w większej odległości, to na skutek oporu powietrza obracających się fragmentów strumienia jego prędkość spadnie. Ponadto wzrośnie również odchylenie torów lotu poszczególnych fragmentów strumienia. W wyniku tych zjawisk głębokość penetracji spadnie. Omawianą zależność prezentuje rys. 4. Optymalny dystans aktywacji wynosi zazwyczaj 6-8 kalibrów. W związku z powyższym współczesne pociski kumulacyjne mają obudowy ukształtowane w taki sposób, aby aktywacja nastąpiła stosunkowo daleko od pancerza. Przykładem może tu być ewolucja pocisku MILAN przedstawiona na rys. 5.

Współczesne pociski kumulacyjne są nadzwyczaj skuteczną bronią przeciwpancerną. Ich zdolność penetracji przekracza 1 m RHA (jednorodnej walcowanej stali pancernej).



Rys. 4. Głębokość penetracji w zależności od odległości w jakiej został aktywowany ładunek kumulacyjny. (wg M. Held)



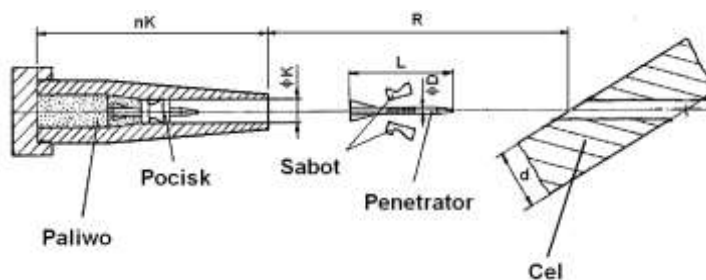
Rys. 5. Ewolucja pocisku MILAN. (MBB)

Cenną jest zwłaszcza możliwość umieszczania kilku pocisków w tandem w jednej obudowie. Taka aranżacja pomaga w walce przeciw pancierzom reaktywnym typu ERA. Pierwszy z ładunków aktywuje pancierz, drugi zaś jest odpalany, gdy na pancierzu właściwym celu nie ma już płytki ERA. Inną cenną własnością tego typu pocisków jest fakt, że ich zdolność przebicia praktycznie nie zależy od prędkości lotu pocisku. Jego skuteczność pozostanie w przybliżeniu taka sama nawet, jeśli pocisk w chwili aktywacji pozostaje nieruchomy. Własność tą wykorzystuje się w minach przeciwpancernych i w ładunkach zrzucanych na spadochronach, zwłaszcza z bomb kasetowych.

Podstawową wadą ładunków kumulacyjnych jest ich wrażliwość na uszkodzenia i jakość wykonania. Znamionową głębokość penetracji uzyskuje się tylko w przypadku idealnie osiowego wykonania całego pocisku. Dotyczy to zarówno ładunku materiału wybuchowego jak i wykładziny, obudowy i zapalnika. Jakakolwiek niedokładność daje istotne obniżenie penetracji. Z tego też powodu pociski te są wrażliwe na uszkodzenia mechaniczne. Nawet, bowiem wgniecenie obudowy może spowodować nieprawidłowy rozwój strumienia i skrócenie penetracji. Fakt ten wykorzystuje się w systemach aktywnej ochrony balistycznej.

3. POCISK RDZENIOWY

Drugim z powszechnie obecnie używanych typów pocisków są pociski podkalibrowe. Zwykle składają się one z rdzenia o dużej długości i małej średnicy oraz odrzucanego w locie sabotu (rys. 6). Sabot wypełniając cały przekrój lufy pozwala pociskowi rozprężyć się do prędkości ponad 1,5 km/s. Po opuszczeniu lufy przez pocisk sabot oddziela się i w kierunku celu podąża sam rdzeń. Dla zapewnienia dużej celności rdzenie zazwyczaj wyposażone są w stateczniki aerodynamiczne. Postać penetracji pociskiem podkalibrowym przedstawiona jest na rys. 7 i 8. Jak widać, średnica krateru jest tu zdecydowanie większa niż dla ładunków kumulacyjnych. Okupione to jednak jest nieco mniejszą zdolnością do penetracji. Wynika to między innymi z mniejszej prędkości i większej średnicy penetratora. Z tych też względów mechanizm penetracji jest bardziej złożony.



Rys. 6. Zasada działania pocisku podkalibrowego. (wg Lanz/Odermat)



Rys. 7. Płyty pancerne przebite pociskami podkalibrowymi. (fot. C. Galiński)

Hydrodynamiczna erozja nadal odgrywa dominującą rolę, więc w pierwszym przybliżeniu można głębokość penetracji opisać równaniem:

$$T \approx \eta L \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_c}} \approx \frac{2}{3} L \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_c}} \quad (1)$$

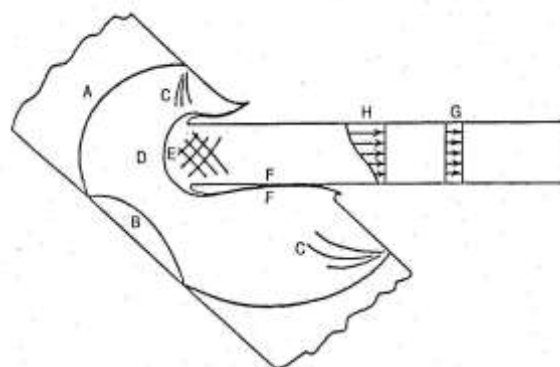
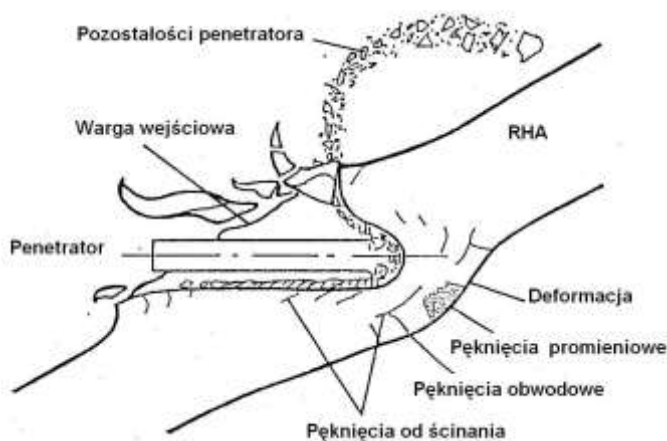
gdzie:

η - „sprawność” penetracji

ρ_c - gęstość celu

ρ_p - gęstość penetratora

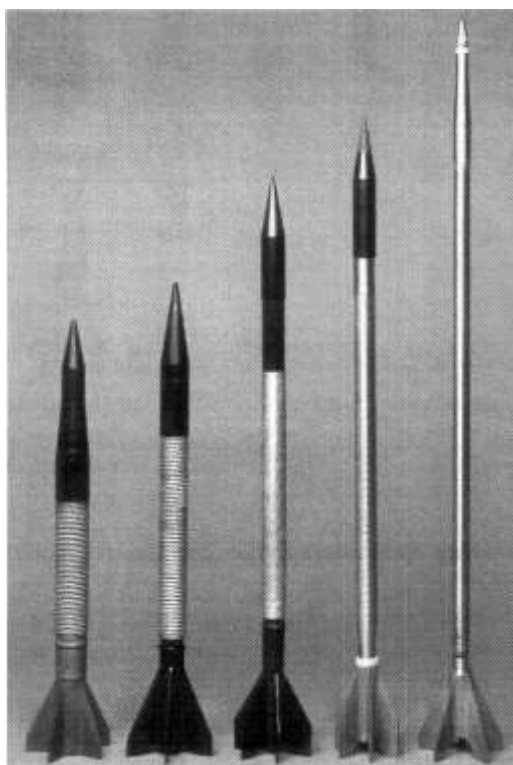
L - długość penetratora



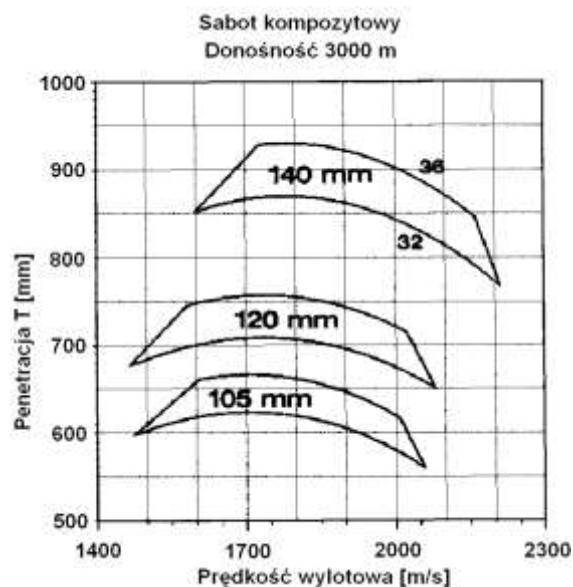
A: Fala uderzeniowa
B: Złamania
C: Ścinanie
D: Obszar wysokiego ciśnienia
E: Deformacja plastyczna /poślizg
F: Efekty kontaktowe
G: Fala podłużna
H: Fala zginająca

Rys. 8. Penetracja pociskiem podkalibrowym. (wg G. Silsby)

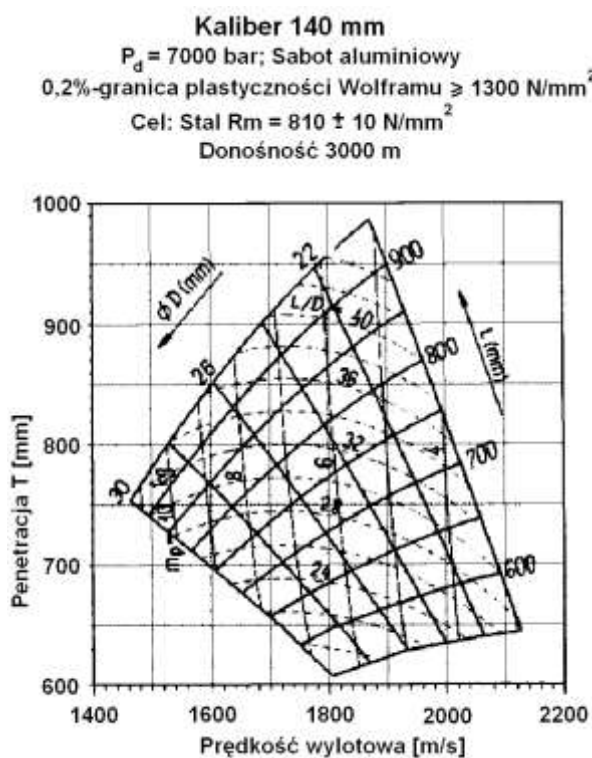
Rys. 9. Efekty falowe przy penetracji rdzeniem o dużej długości. (wg Wright)



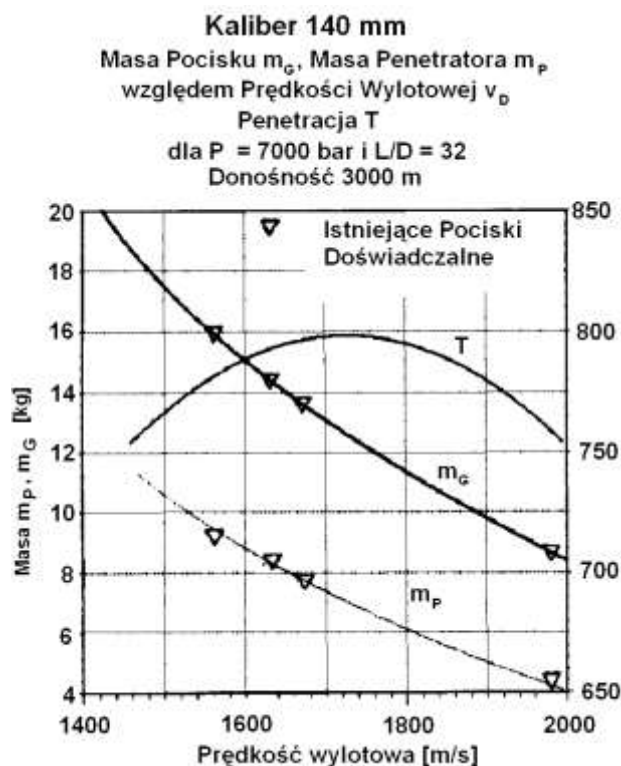
Rys. 10. Tendencja rozwojowa rdzeni pocisków podkalibrowych. Rheinmetall



Rys. 11. Porównanie nowoczesnych dział czołgowych. (wg Lanz/Odermatt)



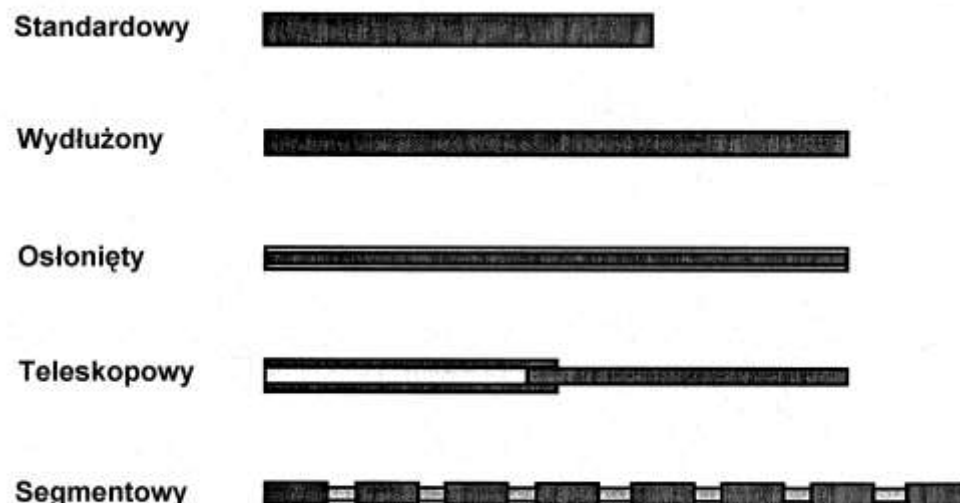
Rys. 12. Krańcowe charakterystyki balistyczne pocisków nowoczesnych armat czołgowych. (wg Lanz/Odermatt)



Rys. 13. Masa pocisku i penetratora oraz głębokość penetracji względem prędkości wylotowej. (wg Lanz/Odermatt)

Jednak inne zjawiska zaczynają również odgrywać istotną rolę. Np. Rys. 9 przedstawia efekty falowe występujące podczas penetracji pancerza pociskiem podkalibrowym o dużym stosunku długości do średnicy.

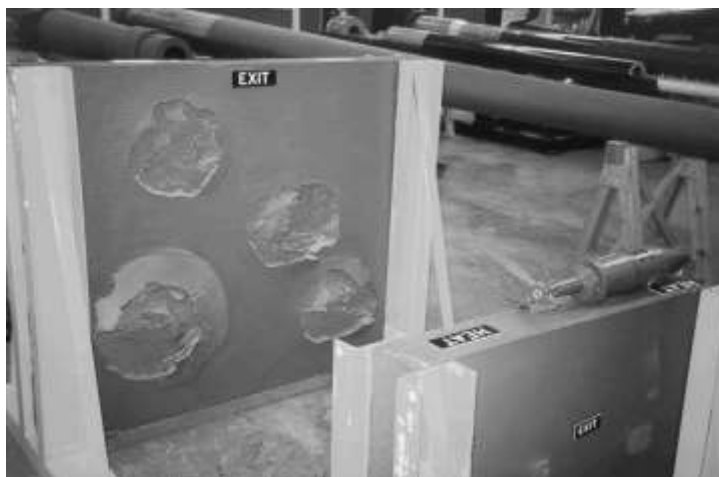
Z równania (1) wynika, że głębokość penetracji jest proporcjonalna do długości penetratora. Typową więc tendencją rozwoju pocisków podkalibrowych jest maksymalne wydłużanie rdzenia. Tendencję tę przedstawia Rys. 10. Jest ona jednak ograniczona długością typowego magazynu amunicyjnego. Inną możliwością zwiększenia głębokości penetracji jest zwiększenie stosunku gęstości materiałów penetratora i pancerza. Z tego właśnie powodu dużą popularność zdobyły sobie rdzenie ze zubożonego uranu. Ze względów jednak ekologicznych może się okazać, że użycie tego typu penetratorów zostanie zakazane. Dalsze zwiększanie penetracji drogą zwiększania gęstości materiału rdzenia jest już z resztą mało prawdopodobne ze względu na brak trwałych materiałów o odpowiedniej gęstości. Możliwość dalszego zwiększania penetracji tkwi w zwiększeniu kalibru działa (Rys. 11-13) oraz w konstrukcji rdzenia. Rozważa się również stosowanie rdzeni w osłonach węglowych, rdzeni teleskopowych oraz segmentowych, jak to pokazano na Rys. 14.



Rys. 14. Rozważane możliwości zmian konstrukcji rdzeni. (EADS-TDW)

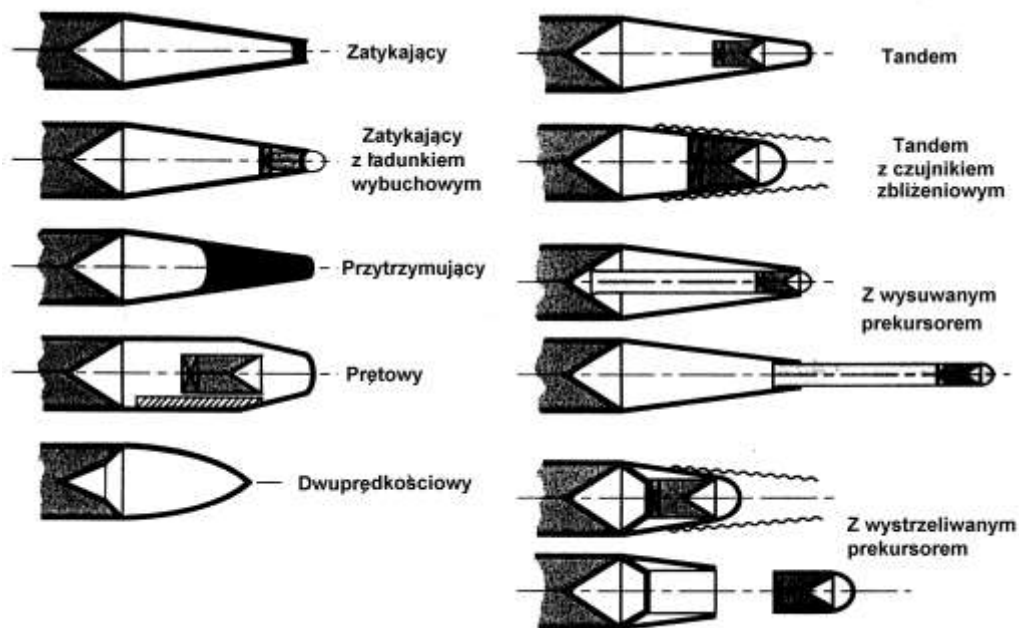
4. INNE RODZAJE POCISKÓW PRZECIWPANCERNYCH

Typowe ładunki kumulacyjne mają wykładziny o stosunkowo małym kącie rozwarcia stożka. Wraz ze zwiększaniem tego kąta zmienia się również charakter strumienia kumulacyjnego. Staje się on krótszy, ma coraz większą średnicę i zawiera coraz więcej materiału wykładziny. Spada również prędkość wierzchołka strumienia. W skrajnym przypadku **ładunków EFP** (explosively formed projectile) strumień w ogóle się nie wykształca. Z materiału wykładziny tworzy się natomiast „pocisk formowany wybuchowo”. Pociski takie mogą mieć kształty od czaszy kulistej począwszy (ładunki z lat 60-tych) aż po zbliżony do penetratora rdzeniowego. Zaletami takiego ładunku są mała długość i nieznaczna w porównaniu z ładunkiem kumulacyjnym wrażliwość na dystans od pancerza w jakim ładunek został aktywowany. Zalety te są jednak okupione mniejszą głębokością penetracji, przy większej średnicy krateru. Dodatkowym efektem są odłamki odrywające się od wewnętrznej strony pancerza. Jeszcze większe możliwości, jeśli chodzi o odrywanie odłamków mają **pociski burzące**, pozbawione wykładziny i w całości wypełnione materiałem wybuchowym. Skutki działania takiego pocisku widać na Rys. 15. Ładunki tego typu nie wywołują jednak znaczącej penetracji pancerza. Odmianą tego typu ładunków są **ładunki odłamkowo burzące**, wyposażone w kruszący się i wytwarzający odłamki



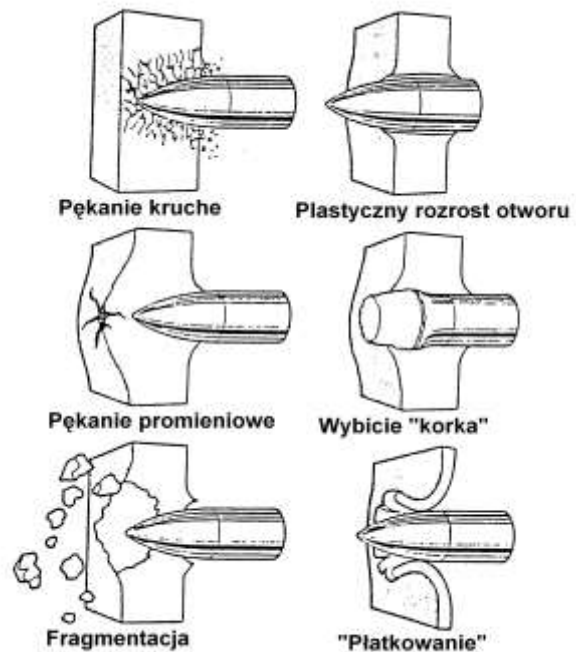
Rys. 15. Skutki wybuchu pocisku burzącego po przeciwnej stronie pancerza. (fot. C. Galiński)

plaszcz. Dodatkowym efektem są tu zniszczenia wyposażenia celu znajdujące się na pancerzu. Ciekawostką jest fakt, że łączna objętość zniszczonego materiału zarówno w przypadku pocisków kumulacyjnych, EFP, burzących, jak i odłamkowo burzących jest w przybliżeniu taka sama.



Rys. 16. Pociski z ładunkami kumulacyjnymi przeznaczonymi do walki z celami wyposażonymi w pancerze reaktywne. (TDW)

Dużym wyzwaniem dla konstruktorów amunicji okazały się pancerze reaktywne. Po aktywacji opancerzenie tego typu efektywnie chroni przed typowymi ładunkami kumulacyjnymi, niektóre zaś jego wersje zdolne są przeciwdziałać również pociskom rdzeniowym. Słabością pancerzy reaktywnych jest jednorazowość zapewnianej przez nie ochrony. Pojazd trafiony w to samo miejsce po raz drugi, będzie miał ochronę pancerną wynikającą tylko z zastosowania pancerza zasadniczego. Wykorzystano to projektując nowe pociski z ładunkami kumulacyjnymi. Układy konstrukcyjne niektórych z nich pokazano na Rys. 16. Najogólniej rzecz ujmując zasada ich działania polega na aktywowaniu pancerza ERA wcześniej niż zostanie aktywowany zasadniczy ładunek kumulacyjny i/lub utworzeniu drogi zasadniczemu strumieniowi kumulacyjnemu poprzez eksplodujący pancerz. Dzięki temu właściwy ładunek kumulacyjny nie jest rozpraszany. Można to osiągnąć przez



Rys. 17. Postaci zniszczenia cienkich blach pancernych przez pociski przeciwpancerne małego kalibru. (wg Backman)

przebite płytki ERA wytrzymałym elementem mechanicznym i następnie aktywowanie ładunku kumulacyjnego, zastosowanie ładunku o tak ukształtowanej wykładzinie, że wytwarzają się dwa odrębne strumienie kumulacyjne lub umieszczenie w jednej obudowie dwu ładunków kumulacyjnych, z których jeden jest aktywowany wcześniej, a drugi później.

Na koniec warto również wspomnieć o przeciwpancernych pociskach małego kalibru. Mają one zazwyczaj zbyt małe rozmiary, aby zawierać głowicę kumulacyjną lub rdzeń o mniejszej średnicy. Pomimo tego dzięki zastosowaniu materiałów o dużej gęstości i wytrzymałości oraz odpowiedniej



Rys. 18. Penetracja aluminiowej płyty pancernej przez małowalibrowe pociski przeciwpancerne. (fot. C. Galiński)

konstrukcji pocisku i broni mogą one

skutecznie zwalczać lekko opancerzone cele. Rys.17 przedstawia niektóre postaci zniszczenia pancerza przez pocisk małego kalibru. Rys.18 pozwala uświadomić sobie, na ile są one skuteczne. Przedstawiony na nim pancerz aluminiowy o grubości 30 mm firmy Alcan został przebity pociskami Browning 30 wystrzelonymi z odległości 30 m.

6. PODSUMOWANIE

Współcześnie używane rodzaje pocisków dysponują doskonałymi parametrami techniczno-taktycznymi. Ponadto sposoby, w jaki oddziałują one na pancerz różnią się w sposób istotny, jeżeli więc dany środek zwalczania broni pancernej jest wyposażony w więcej niż jeden rodzaj pocisków, to zaprojektowanie pancerza pasywnego chroniącego wnętrze pojazdu przed takim środkiem staje się niemożliwe. Przed zagrożeniem o złożonej charakterystyce można się bronić tylko przy użyciu osłony składającej się z wielu różnych współpracujących elementów. Omówienie ich jednak przekracza ramy niniejszej pracy.

7. LITERATURA

- [1] HELD M.: Materiały ze szkolenia "Survivability of Armoured Vehicles", RMCS, Cranfield University, 5-7.03.2001.
- [2] OGORKIEWICZ R.M.: Materiały ze szkolenia "Survivability of Armoured Vehicles", RMCS, Cranfield University, 5-7.03.2001.
- [3] HELD M.: „Phenomenological Description of the Function of Shaped Charges”, Journal of Explosives and Propellants, R.O.C., Taiwan, 7, 1-7.1991.

- [5] ZUKAS J. A.: “High Velocity Impact Dynamics”, A Wiley-Interscience Publication John Wiley&Sons, Inc, 1990.
- [6] ZUKAS J.A., NICHOLAS T., SWIFT H.F., GRESZCZUK L.B., CURRAN D.R.: “Impact Dynamics”, A Wiley-Interscience Publication John Wiley&Sons, Inc, 1982.
- [7] Materiały reklamowe firm: EADS, Daimler Chrysler Aerospace, Deutsche Aerospace, Rheinmetall, MBB.

8. PODZIĘKOWANIA

Autor składa podziękowania prof. Dr. Manfredowi Heldowi z EADS Daimler Chrysler Aerospace TDW Schrobenhausen za udostępnienie materiałów, dzięki którym mogła powstać niniejsza publikacja.

PRINCIPLES OF OPERATION OF MAIN TYPES OF ARMOUR-PIERCING SHELLS

Abstract: The paper discusses principles of operation of the main types of armour-piercing shells. The paper is based on “Survivability of Armoured Vehicles” training materials.

Recenzent: doc. dr inż. Wojciech ZAJLER