

## SPOSOBY ZWIĘKSZANIA EFEKTYWNOŚCI RAŻENIA WSPÓLCZESNEJ ODLAMKOWEJ I ODLAMKOWO-BURZĄCEJ AMUNICJI ARTYLERYJSKIEJ

**Wojciech FURMANEK\***

\* *Wydział Mechatroniki i Lotnictwa, Wojskowa Akademia Techniczna  
e-mail: wojciech.furmanek@wat.edu.pl*

Artykuł wpłynął do redakcji 02.11.2012 r., Zweryfikowaną i poprawioną wersję po recenzjach i korekcie otrzymano w lutym 2013 r.

*W referacie scharakteryzowano istotę działania odłamkowych i burzących pocisków artyleryjskich w odniesieniu do celów żywych oraz w niewielkim stopniu do techniki bojowej. Przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne stosowane we współczesnych tego typu pociskach artyleryjskich oraz scharakteryzowano te cechy amunicji, które decydują o efektywności jej rażenia. Zaprezentowano wybrane kierunki rozwoju konstrukcji pocisków, zmierzające do poprawy zasięgu, precyzji rażenia i skuteczności oddziaływania na różne typy celów.*

**Słowa kluczowe:** *działanie odłamkowe, efektywność rażenia pocisków artyleryjskich, zwiększenie zasięgu pocisków*

### WSTĘP

Na współczesnym polu walki dużą wagę przykładają się do szybkości działania wojsk. Wykonując szybkie manewry, można w krótszym czasie osiągnąć wyznaczone cele taktyczne przy mniejszych stratach własnych. Zadaniem artylerii jest zwalczanie celów naziemnych, powietrznych i nawodnych ogniem dział i pociskami raketowymi. Wykonując swoje zadania, artyleria zwykle wspiera inne rodzaje wojsk lub działa samodzielnie. Aby w warunkach wysoce manewrowych działań uzyskać wymagany stopień porażenia przeciwnika, należy dysponować odpowiednim uzbrojeniem i wyposażeniem technicznym, zgraną i wyszkoloną kadrami, stosować adekwatną taktykę działania odpowiednio ugrupowanych pododdziałów artylerii oraz dysponować amunicją o wymaganej efektywności rażenia. Poprawa skuteczności prowadzonego ognia wpływa znacząco na szybkość wykonywania zadań i wielkość strat, jakie jesteśmy w stanie zadać, przez co ma istotny wpływ na potencjał bojowy, jakim dysponuje przeciwnik. Dzięki temu zmniejszają się szeroko rozumiane koszty związane z wykonaniem zadania, ilość amunicji, jaką musimy zużyć, żeby osiągnąć cel oraz skraca się czas, który będzie nam potrzebny do jego realizacji. O ile sposoby działania i poziom wyszkolenia załóg oraz sztabów można doskonalić w każdych warunkach, o tyle zdolność rażenia amunicji jest ściśle zdeterminowana jej konstrukcją i parametrami technicznymi.

Z uwagi na stosowanie różnych rozwiązań konstrukcyjnych do zwiększenia efektywności działania rażącego pocisków, występuje potrzeba dostosowania taktyki ich użycia do możliwości bojowych.

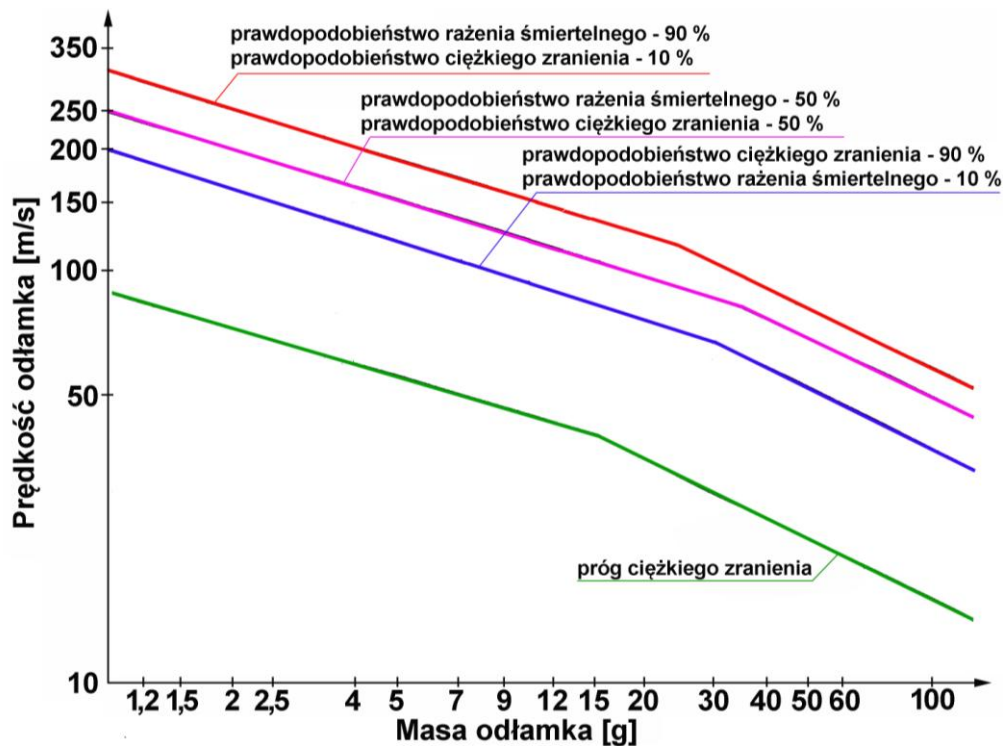
Celem niniejszego referatu jest przedstawienie wybranych kierunków w dziedzinie opracowywania nowych rozwiązań konstrukcyjnych oraz modernizacji odłamkowej i odłamkowo-burzącej amunicji artyleryjskiej w kontekście poprawy jej efektywności rażenia.

## 1. ISTOTA DZIAŁANIA ODŁAMKOWEGO I BURZĄCEGO POCISKU

Jednym z podstawowych zadań artylerii jest zwalczanie siły żywej nieosłoniętej lub osłoniętej indywidualnymi osłonami balistycznymi. Podstawowym środkiem służącym do tego celu są pociski o działaniu odłamkowym i odłamkowo-burzącym. W przypadku działania odłamkowego zasadniczym mechanizmem powodującym rażenie jest oddziaływanie energią kinetyczną odłamka. Metalowy fragment korpusu pocisku, uderzając w cel z dużą prędkością przy braku penetracji (występowanie osłon balistycznych) przekazuje poprzez osłonę całą swoją energię kinetyczną tkankom zewnętrznym lub tylko pewną jej część – w przypadku rykoszetu odłamka. Tylko niewielka część przyjętej w ten sposób energii ulega dyssypacji, na co ma wpływ konstrukcja i charakterystyki materiałowe osłon. Gdy do penetracji dochodzi, odłamek, poruszając się z dużą prędkością, tworzy kanał trwały o przekroju nieco większym od swojej powierzchni czołowej oraz znacznie większy kanał chwilowy, którego kształt i wielkość silnie zależą od prędkości ruchu odłamka. Transfer energii odłamka na tkanki skutkuje tzw. efektem hydrodynamicznym, który polega na lokalnym, gwałtownym przyspieszaniu cząstek organizmu, skutkiem czego jest m.in. rozerwanie tkanek, a w konsekwencji uszkodzenie organów wewnętrznych. Przy dużych prędkościach uderzenia dochodzi niekiedy nawet do łamania kości, które nie znajdowały się bezpośrednio pod działaniem pocisku, ale będąc zlokalizowane w pobliżu kanału chwilowego narażone były na skutki efektu hydrodynamicznego. O zdolności rażenia w większym stopniu niż masa odłamka decyduje jego prędkość. Wynika to z wykładniczej zależności energii kinetycznej od prędkości – zarówno w ruchu postępowym, jak i obrotowym. Aby uzyskać analogiczny efekt rażenia (rys. 1) kilkukrotne zwiększenie masy odłamka pociąga za sobą tylko kilkudziesięcioprocentowe zmniejszenie jego prędkości (rys. 1). W zasadzie wszystkie odłamki, uderzające w nieosłonięte ciało z prędkościami powyżej prędkości dźwięku w powietrzu (~ 340 m/s), mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka. Kształt odłamka, z punktu widzenia rażenia, ma znaczenie szczególnie wtedy, gdy wiąże się z dużą liczbą ostrych krawędzi, dodatkowo oddziałujących na cel żywy, tnąc jego tkanki.

Odłamki o mniejszej energii, które na skutek fragmentacji dysponują poszarpanymi, ostrymi krawędziami są w stanie równie skutecznie razić nieosłoniętą siłą żywą. W takim przypadku zamiast typowego oddziaływania hydrodynamicznego istotniejsze jest przecinanie i rozrywanie tkanek miękkich. W wielu przypadkach, pomimo słabszego energetycznie oddziaływania takiego odłamka, uzyskuje się rozleglejsze obrażenia oraz dodatkowo silne oddziaływanie psychologiczne. Widok poszarpanych i krwawiących ran, które nie muszą być jednak groźne dla życia, może prowadzić do niestabilnych stanów emocjonalnych. W wielu przypadkach utrudniają one lub wręcz uniemożliwiają realizację zadań bojowych przez rannych żołnierzy, a niekiedy również przez ich

towarzyszy.



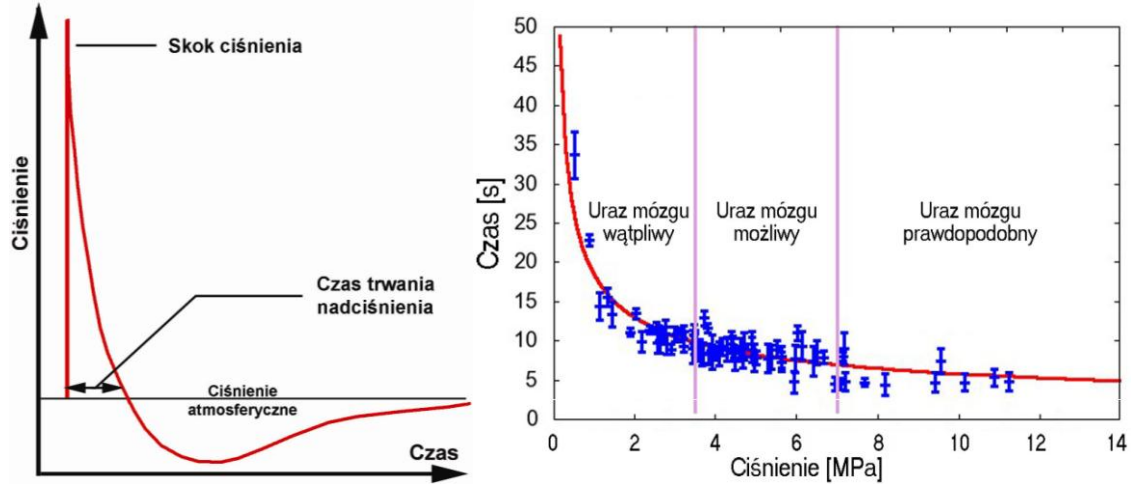
Rys. 1. Zdolność rażenia nieosłoniętej siły żywej przez odłamki pocisków artyleryjskich

Źródło: [1]

Do zwalczania techniki bojowej odławkami pocisków artyleryjskich wymagana jest odpowiednia ich energia (masa i prędkość). O ile do skutecznego porażenia siły żywej wymaga się energetycznego oddziaływania na poziomie  $70\text{-}150\text{ J/cm}^2$  [1,2], o tyle do porażenia urządzeń technicznych potrzeba energii o rząd, a nawet ponad dwa rzędy wielkości większej (zależnie od konstrukcji i ewentualnego opancerzenia). Dlatego też skuteczność pocisków odłamkowych przeciwko technice bojowej jest niewielka i ogranicza się przede wszystkim do niewielkiej odległości od miejsca uderzenia pocisku (zależnie od kalibru, ale realnie jest to odległość od kilku do kilkunastu metrów).

Podczas detonacji materiału kruszącego, oprócz odłamków powstałych w czasie fragmentacji pocisku, występuje jeszcze jeden czynnik rażący – fala uderzeniowa. Jest to gwałtowne spiętrzenie ośrodka (powietrza), spowodowane chemiczną reakcją materiału wybuchowego. Jej charakterystyczną cechą jest występowanie wysokiej temperatury (niekiedy dochodzi nawet do  $5500\text{ K}$ ) oraz bardzo wysokiego ciśnienia (maksymalne ciśnienie detonacji w przypadku materiałów wybuchowych dochodzi do  $50\text{ GPa}$ ). Fala uderzeniowa rozprzestrzenia się kuliście i wraz ze wzrostem odległości od miejsca detonacji ciśnienie na jej czole maleje w sposób wykładniczy. Gdy prędkość fali spadnie poniżej prędkości dźwięku w powietrzu, to przemieszcza się ona jako fala dźwiękowa o dużej amplitudzie. Jednak nawet stosunkowo „niewielkie” nadciśnienie, oddziałując na siłę żywą przez krótki okres czasu, jest w stanie spowodować śmiertelne obrażenia lub takie, które skutkują trwałym kalectwem (rys. 2). „Bezpieczne” (pod tym względem) odległości od miejsca detonacji pocisku wynoszą co najmniej kilka, a w przypadku większych ładunków - kilkanaście metrów. Są one silnie uzależnione od

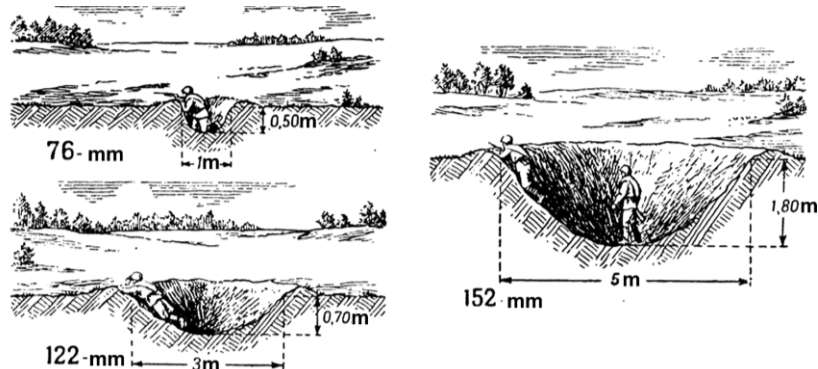
wielkości i konstrukcji pocisku, masy i rodzaju materiału kruszącego oraz ukształtowania terenu i występujących nań przeszkód.



Rys. 2. Tworzenie się fali uderzeniowej (po lewej) [opracowanie własne] oraz działanie rażące nadciśnienia na siłę żywą w funkcji czasu jego oddziaływania (po prawej)

Źródło: [3]

Fala uderzeniowa w niewielkiej odległości od miejsca detonacji jest w stanie wykonać określoną pracę. Dzięki temu, w zależności od wielkości pocisku i nastawy zapalnika, można uzyskać określony efekt burzący (rys. 3). Efekt ten wykorzystuje się podczas niszczenia pól minowych, burzenia szeroko pojętej infrastruktury i fortyfikacji polowych. „Jakość” wykonanej pracy burzenia zależy silnie od rodzaju materiału wybuchowego elaborowanego do pocisku (prędkość detonacji, energii wybuchu), rodzaju materiału celu (rodzaj gruntu, zastosowany materiał budowlany), jego charakterystyk (spistość, wytrzymałość, grubość) i miejsca pobudzenia ładunku kruszącego pocisku (pobudzenie wewnątrz celu daje lepszy efekt niż podczas wnikania w cel). Tak więc chcąc uzyskać lepszy efekt burzenia przy zwalczaniu celów zbudowanych z materiałów o wysokiej wytrzymałości, należy dążyć do uzyskania większej zwłoki w pobudzeniu ładunku materiału wybuchowego niż w przypadku celów charakteryzujących się mniejszą wytrzymałością. Dłuższy czas ruchu pocisku w takim przypadku umożliwia osiągnięcie odpowiedniego dużego zagłębienia się w cel i bardziej efektywną pracę burzenia.



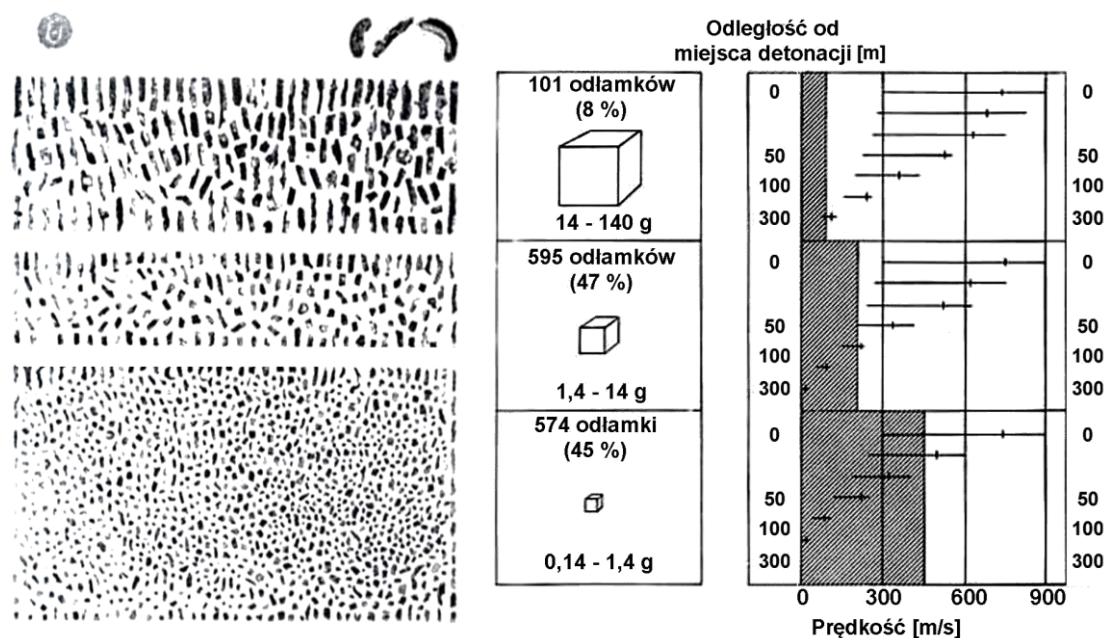
Rys. 3. Działanie burzące pocisków o różnej wielkości (grunt piaszczysty, nastawa zapalnika ze zwłoką)

Źródło: [4]

W działaniu burzącym istotny jest również charakter zmian obciążenia w czasie przechodzenia fali uderzeniowej. Oprócz dużego, skokowego spiętrzenia ośrodka na czole fali uderzeniowej, postępuje tuż za jej frontem jego rozrzedzenie (rys. 2). Wprawdzie nie jest ono co do wartości tak duże, jak naciśnienie, ale trwa znacznie dłużej. Taki sposób obciążenia sprzyja niszczeniu budowli, które są mało- lub wcale nieodporne na tak przebiegający cykl zmian naprężeń zachodzących w materiałach konstrukcyjnych.

## 2. WPŁYW KONSTRUKCJI POCISKU I SPOSOBU JEGO UŻYCIA NA DZIAŁANIE ODŁAMKOWE

Zdecydowana większość starszych konstrukcji i duża część współczesnych odłamkowych i odłamkowo-burzących pocisków artyleryjskich charakteryzuje się występowaniem podczas ich detonacji tzw. fragmentacji przypadkowej. Wprawdzie stosowane są specjalne stopy metali i odpowiednie technologie obróbkowe, które mają poprawić „jakość” i liczbę powstających odłamków, ale pociągnięcia te nie przynoszą radykalnej poprawy „fragmentowalności” korpusów pocisków. Podczas fragmentacji przypadkowej uzyskuje się znaczną liczbę małych odłamków (rys. 4), które szybko tracą prędkość (rys. 4), a tym samym energię kinetyczną, i nawet na niewielkich odległościach nie są w stanie skutecznie porazić siły żywej (rys. 1). Podobną liczbę fragmentów można uzyskać w grupie odłamków średniej wielkości. Te, z uwagi na większą masę i utrzymywanie na torze lotu znacznej prędkości, są w stanie skutecznie razić siłą żywą chronioną osłonami balistycznymi nawet na odległościach do kilkudziesięciu metrów. Najmniej odłamków powstaje w grupie największych fragmentów korpusu, które mogą na dużych odległościach razić siłą żywą, a na mniejszych nawet skutecznie obezwładniać i niszczyć technikę bojową.



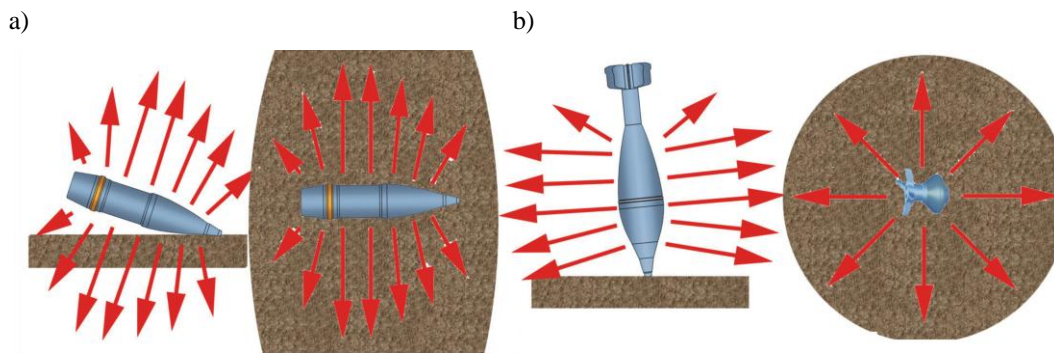
Rys. 4. Rozkład i charakterystyka odłamków powstałych po fragmentacji korpusu 88 mm pocisku odłamkowego

Źródło: [5]

Ich zasięg pozwalałby zwalczać cele na odległościach nawet kilkuset metrów

(rys. 4), ale prawdopodobieństwo trafienia w cel jednym z nielicznych ciężkich odłamków dąży w takim przypadku do zera.

Oprócz nieustalonego kierunku propagacji pęknięć i takiego formowania odłamków podczas fragmentacji przypadkowej na ich dystrybucję w przestrzeni ma również wpływ sposób prowadzenia ognia. Inaczej w przestrzeni rozkładają się odłamki pocisków uderzających w cel pod niewielkim kątem, a inną strefę rażenia tworzą odłamki pocisków uderzających w cel pod kątem zbliżonym do prostego (rys. 5). W tym pierwszym przypadku znaczna część odłamków uderza bezpośrednio w grunt i podobna liczba wlatuje wysoko ponad cel (rys. 5a) – najczęściej nie oddziałują one w żaden sposób na cel. Efektywne są tylko te odłamki, które poruszają się w bok i znajdują się na niewielkiej wysokości nad gruntem. Odmienna sytuacja występuje w przypadku uderzenia pod dużym kątem, gdzie mamy do czynienia z dookólnym ich rozlotem (rys. 5b). W takim przypadku odłamki nie są niepotrzebnie „tracone” i wszystkie mają szanse skutecznie oddziaływać na cel.



Rys. 5. Rozlot odłamków pocisku

- a) przy uderzeniu pod niewielkim kątem i przy uderzeniu pod kątem zbliżonym do prostego;  
b) w ujęciach z boku i z góry

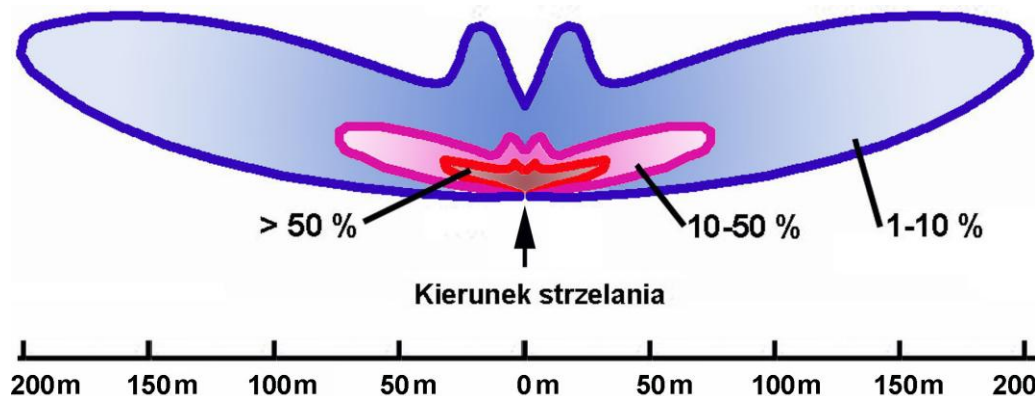
Źródło: Opracowanie własne

W rzeczywistości podczas detonacji pocisku na gruncie kąt uderzenia zawiera się pomiędzy  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , a strefy rażenia jakościowo przypominają te przedstawione na rys. 6. Kształt i wielkość poszczególnych stref silnie zależy od wielkości i konstrukcji pocisku oraz od kąta uderzenia. Pomimo dużej liczby generowanych odłamków i znacznej ich energii kinetycznej wielkość strefy z 50% poziomem prawdopodobieństwa rażenia jest bardzo mała. Związane jest to z malejącą liczbą (gęstością) odłamków w przestrzeni na większych odległościach. Ponadto, obserwując kształt stref rażenia, nie trudno się oprzeć wrażeniu, że funkcjonujący w literaturze termin „promień skutecznego rażenia ...” jest niezbyt doskonałym miernikiem efektywności oddziaływania odłamkowego z uwagi na bardzo dużą liczbę zmiennych niezależnych mających na niego wpływ.

W celu poprawy skuteczności rażenia odłamkowego podczas fragmentacji przypadkowej stosuje się, oprócz zabiegów technologicznych, również nowe rozwiązania konstrukcyjne. Zmieniając kształt korpusu pocisku i grubości jego ścianek, a także sposób jego elaboracji, można uzyskać bardziej korzystny rozkład odłamków wokół korpusu (rys. 7).

Przykład serbskich 122 mm pocisków haubicznych (OF-462 i M76 – rys. 7)

wskazuje, że na kształt i wielkość stref rażenia można istotnie wpływać również konstrukcją pocisku [7].



Rys. 6. Prawdopodobieństwo porażenia stojącej siły żywej przez 155 mm odłamkowy pocisk artyleryjski, uderzający w grunt pod kątem około 20°

Źródło: [6]

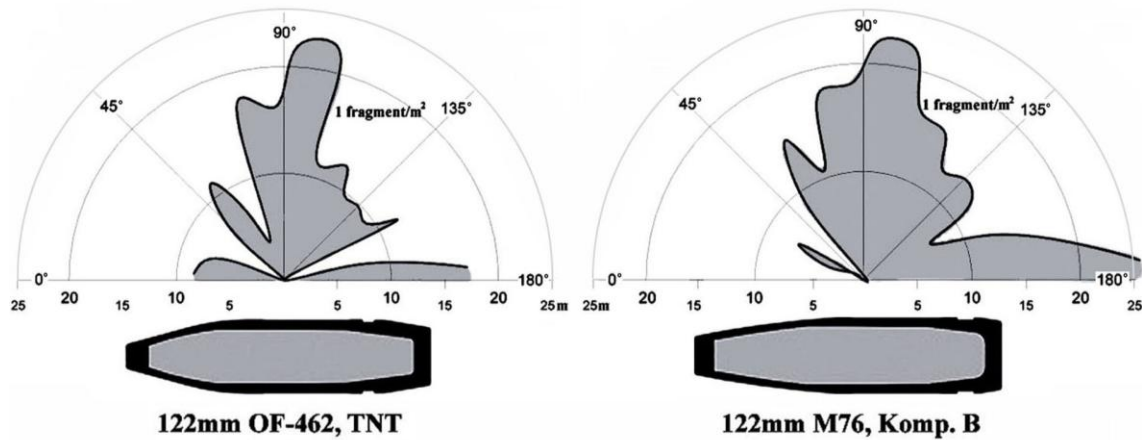
W tym przypadku są to jednak tylko strefy potencjalne, tzn. mogą one mieć taki kształt i wielkość, gdy mamy do czynienia z terenem równinnym, pozbawionym infrastruktury i przeszkód naturalnych. Gdy w takiej strefie rażenia znajdzie się jakaś przeszkoda o większej wytrzymałości (np. drzewo, nasyp, nierówność terenu, pojazd itp.), poruszające się w pobliżu gruntu odłamki zostaną przez taką przeszkodę „przejęte” i nie będą stanowiły już zagrożenia dla potencjalnego celu. Tak więc dla odłamków powstałych podczas detonacji pocisku na gruncie każda przeszkoda w istotny sposób ogranicza ich dystrybucję, przez co znacząco obniża efektywność pocisków. Aby zminimalizować wpływ „wycinania” szeregu takich „sektorów” z potencjalnych stref rażenia pocisków, do uzbrajania pocisków odłamkowych zaczęto stosować zapalniki zbliżeniowe, które umożliwiały pobudzenie pocisków na pewnej wysokości nad ziemią. Zastosowanie wybuchu w powietrzu umożliwiło niemalże wyeliminowanie zjawiska powstawania „martwych stref” za przeszkodami, pozwoliło ponadto na bardziej skuteczne rażenie celów ukrytych w transejach i za elementami rozbudowy inżynieryjnej (rys. 8). Porównanie wielkości i kształtu stref rażenia dla pocisków zdetonowanych w powietrzu i na gruncie (rys. 8) wskazuje na potencjalnie wyższą skuteczność rażenia przy wykorzystaniu pocisków uzbrojonych w zapalniki zbliżeniowe.

Wnioski płynące z podobnych analiz przyczyniły się do upowszechnienia w nowoczesnych armiach zapalników zbliżeniowych lub wielonastawowych, w których oprócz modułu zbliżeniowego znajduje się dodatkowo klasyczny uderzeniowy lub elektroniczny czasowy. Ostatnia dekada XX wieku to, w odniesieniu do nowo zakupywanych środków bojowych, czas wypierania starszych rozwiązań konstrukcyjnych zapalników uderzeniowych na rzecz zbliżeniowych lub wielonastawowych, gdzie opcja na działanie uderzeniowe najczęściej pełni funkcję „samolikwidatora”, powodującego detonację w przypadku ewentualnej usterki modułu elektronicznego.

### 3. SPOSOBY POPRAWY EFEKTYWNOŚCI RAŻENIA ODŁAMKAMI

Uwzględniając opisane powyżej aspekty stosowania pocisków odłamkowych, udało się znacząco zwiększyć skuteczność tego typu amunicji, jednak dalszy przyrost ich efektywności mógł mieć miejsce tylko dzięki zastosowaniu nowych materiałów

i nowych rozwiązań konstrukcyjnych. Wybrane, charakterystyczne sposoby poprawy skuteczności działania odłamkowego przedstawione zostały poniżej.



Rys. 7. Wpływ konstrukcji 122 mm pocisków na wielkości stref rażenia odłamkami w warunkach statycznych przy ich równoległym ułożeniu do ziemi

Źródło: [7]

Kąt uderzenia	Detonacja na gruncie	Detonacja w powietrzu	↑ K i e r u n e k  s t r z e l a n i a  □
11° 15'			
28° 7'			
50° 37'			
70° 18'			
<b>Efekt działania pocisku na cele znajdujące się w zagłębieniach terenu i w okopach</b>			
	Źaden	Dobry	
	Odlamki poruszają się poziomo	Odlamki poruszają się w dół	

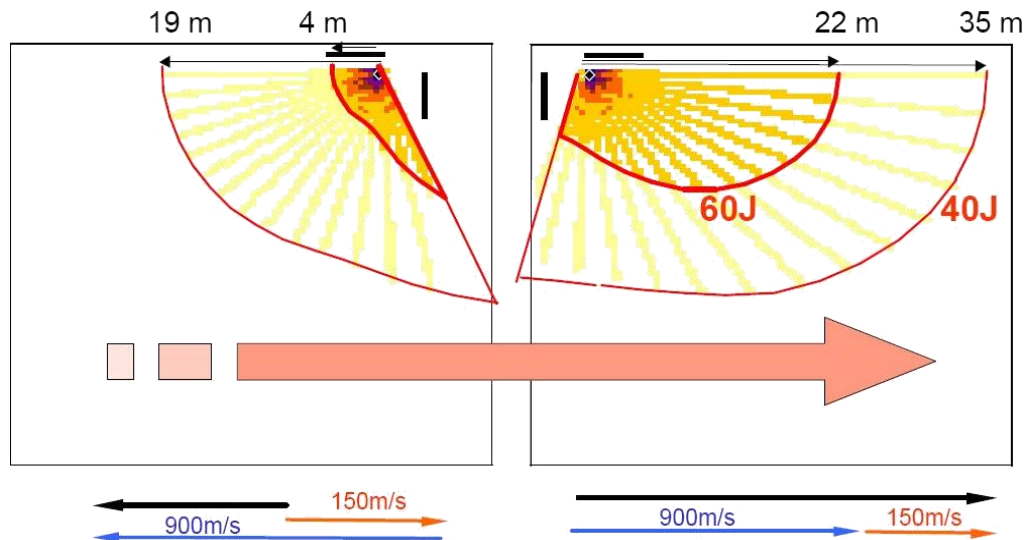
Rys. 8. Wpływ sposobu pobudzenia i kąta uderzenia pocisku odłamkowego na wielkość i kształt stref rażenia

Źródło: [8]

Wielkość przedstawionych na rysunkach 6-8. stref rażenia można zwiększyć, zmieniając konstrukcję pocisku poprzez relokalizację zapalnika. Jeżeli konstrukcja pocisku umożliwi zastosowanie zapalnika dennego (np. pociski do granatników, małokalibrowej amunicji przeciwlotniczej, pokładowej wozów bojowych), a jego typ pozwala na pobudzenie pocisku we właściwym miejscu względem celu (np. elektroniczne zapalniki czasowe), to możliwe jest znaczące zwiększenie energii kinetycznej odłamków. Uzyskuje się to poprzez sumowanie wektorów prędkości odłamków, które są składo-



wymi prędkości postępowej pocisku i prędkości nadanej podczas detonacji ładunku kruszącego (rys. 9). Ze względu na dużą wartość składowej od detonacji w przypadkach pocisków uzbrojonych w zapalnik głowicowy wektor prędkości odłamka czasami może być skierowany dokładnie przeciwnie do kierunku ruchu pocisku (odłamek z dna pocisku - rys. 9 po lewej), w przypadku zaś zapalnika dennego może nastąpić sumowanie obu prędkości (odłamek z części głowicowej - rys. 9 po prawej). W pierwszym przypadku strefa rażenia będzie się rozciągać po bokach pocisku i nieznacznie do tyłu, w drugim zaś z tyłu będzie niewielka, zaś jej przyrost w przedniej półsfery będzie bardzo duży (rys. 9).

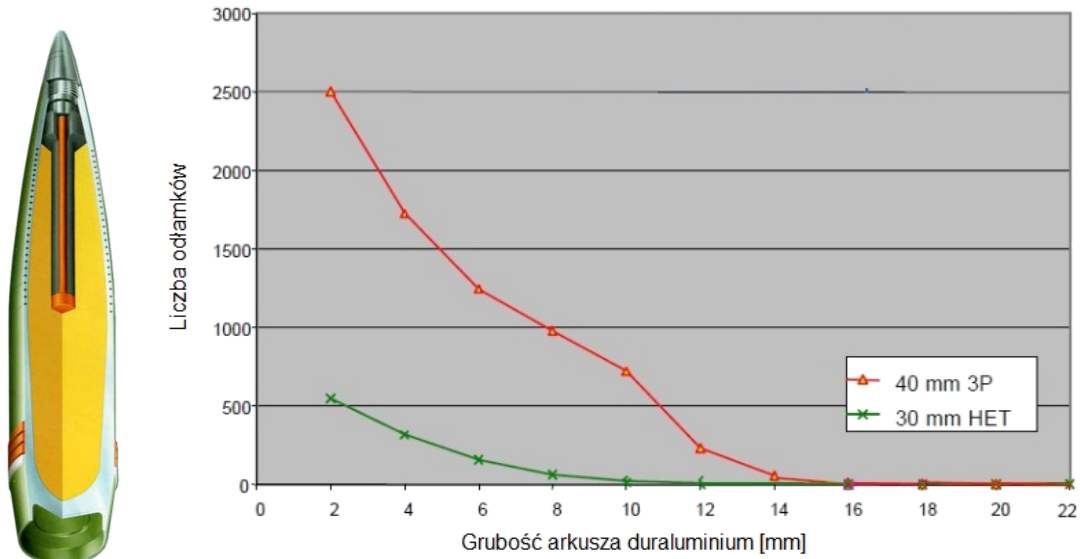


Rys. 9. Kształt i wielkości stref rażenia 40 mm pocisków odłamkowych pobudzanych zapalnikiem głowicowym (po lewej) i dennym (po prawej) oraz składowe wektora prędkości odłamka (czarny): od prędkości pocisku (czerwony) i od fali detonacyjnej (niebieski)

Źródło: [9]

Taki sposób rażenia wymaga zastosowania nieklasycznej taktyki użycia tego typu amunicji, dlatego obecnie jest ona stosowana w broni pokładowej wozów bojowych oraz w niektórych aplikacjach przeciwlotniczych. Natomiast zastosowanie fragmentacji wymuszonej nie ingeruje w zasady prowadzenia strzelania, a pozwala uzyskać istotną poprawę skuteczności rażenia. Zatopienie w korpusie pocisku pewnej liczby prefabrykowanych elementów (rys. 10) przyczynia się do uzyskania po fragmentacji precyzyjnie określonej liczby odłamków o podobnej masie i kształcie, co pozwala dokładnie określić ich balistykę zewnętrzną (zaprogramować wielkość strefy rażenia) oraz końcową (określić zdolność rażenia określonego celu). Zamiast dużej liczby nieefektywnych odłamków o małej masie uzyskuje się w przypadku fragmentacji wymuszonej większą strefę rażenia, gdzie mamy do czynienia z większą gęstością odłamków skutecznych w przestrzeni. Do zilustrowania tej zasady może posłużyć rys. 10, na którym porównana jest skuteczność 40 mm pocisku 3P (w korpusie pocisku zatopionych jest 1100 wolframowych kulek o średnicy 3 mm) oraz klasycznego 30 mm pocisku odłamkowo-zapalającego (HEI) o przypadkowej fragmentacji korpusu. Nawet kilkudziesięciokrotnej różnicy w liczbie odłamków, które przebiły duraluminiowe arkusze o określonej grubości, nie można przypisać tylko różnicy wielkości pocisków. Daje się łatwo zauważyć, że o ile tylko nieliczne odłamki 30 mm pocisku są w stanie przebić arkusze  $\geq 8$  mm,

to w przypadku pocisku 40 mm liczba penetracji wynosi tyle, ile znajduje się w pocisku prefabrykowanych odłamków (rys. 10). Przebicia grubszych arkuszy też najprawdopodobniej związane są z oddziaływaniem wykonanych z wolframu kulek, a nie stalowych elementów powstałych z fragmentacji pozostałej części korpusu 40 mm pocisku.



Rys. 10. Pocisk kalibru 155 mm z korpusem z częściowo wymuszoną fragmentacją [10] oraz porównanie skuteczności działania pocisku z fragmentacją wymuszoną (pocisk 3P) i przypadkową (HEI)

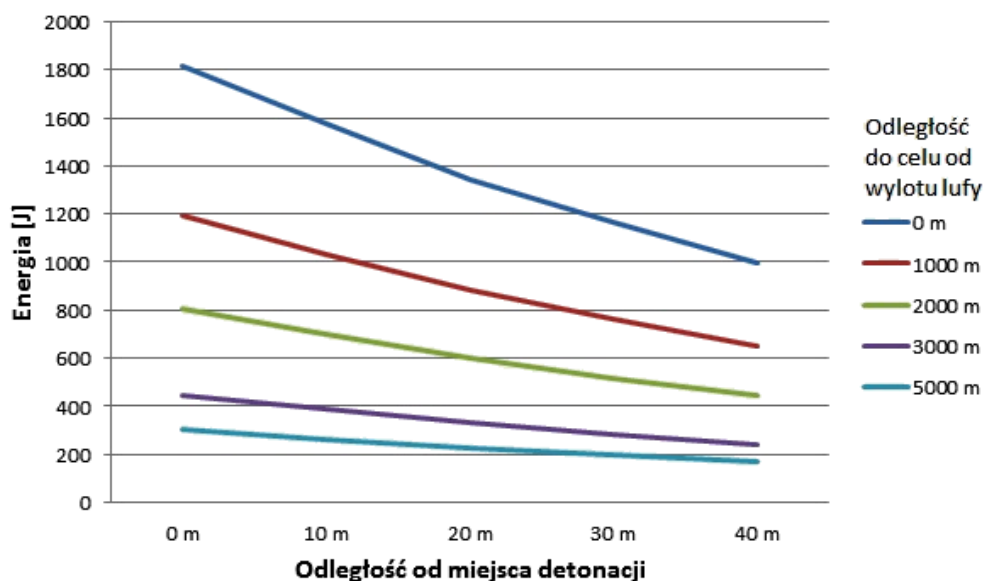
*Źródło: [9]*

Z uwagi na to, że elementy prefabrykowane wykonane są z materiału o większej twardości niż materiał korpusu pocisku w pociskach z wymuszoną fragmentacją uzyskuje się kolejną (oprócz zwiększenia gęstości odłamków w przestrzeni i ujednorodnienia ich wielkości/energii) wartość dodaną w postaci poprawy przebijalności. Zjawisko to nie ma miejsca w przypadku stosowania fragmentacji wymuszonej poprzez osłabianie ścianek korpusu. W takim układzie konstrukcyjnym odłamki kształtują się z odpowiednio ponacinanych fragmentów litego korpusu.

W obu przypadkach stosowania fragmentacji wymuszonej mamy do czynienia z osłabieniem korpusu pocisku, dzięki czemu podczas fragmentacji nieco mniejsza (o około kilka procent) część energii chemicznej materiału wybuchowego jest przekazywana na odłamki. Jednak opisany powyżej przyrost wartości bojowej tego typu pocisków w pełni rekompensuje tę niewielką stratę.

Pośród amunicji typu ABM (**A**ir **B**urst **M**unition – nabój z pociskiem odłamkowym, pobudzany na torze lotu zapalnikiem czasowym) wyróżniają się naboje z pociskiem AHEAD (nazwa własna amunicji typu ABM firmy Oerlikon). Istota ich działania sprowadza się do rażenia wolframowymi prefabrykowanymi walcami, które znajdują się w kilku warstwach na pokładzie pocisku. Jednak ich energia kinetyczna jest tylko pochodną prędkości pocisku w chwili rozcalenia – brak jest materiału kruszącego, który nadawałby większą prędkość elementom rażącym. Ze względu na stosunkowo niewielkie wartości energii kinetycznej pojedynczego podpocisku (rys. 11) nie jest to amunicja przeznaczona do zwalczania opancerzonej techniki bojowej, ale wykorzystywana jest

w zestawach przeciwlotniczych i jako uzbrojenie bojowych wozów piechoty. Do stosowania w tych aplikacjach predysponuje ją sposób w jaki razi cel, dzięki czemu uzyskuje się wysokie prawdopodobieństwo trafienia.

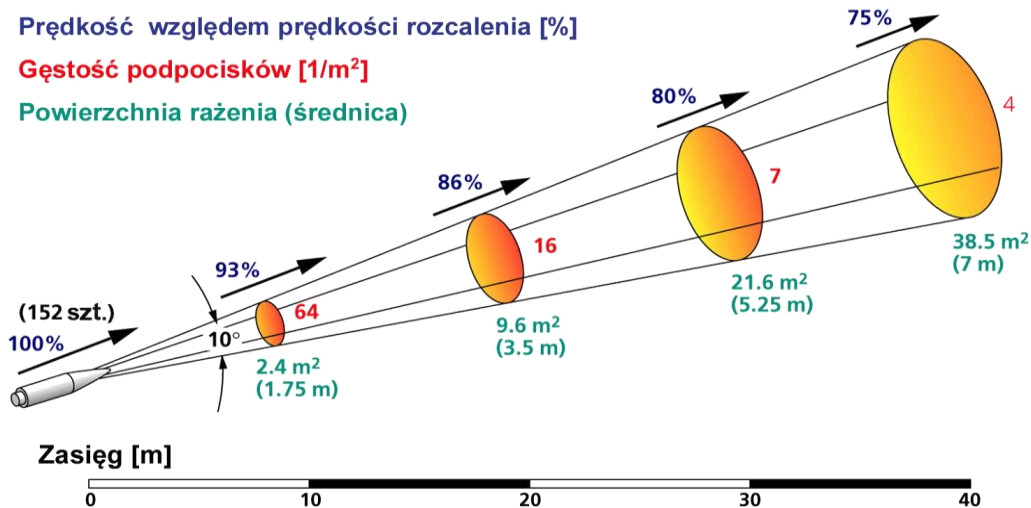


Rys. 11. Energia pod pocisków 35 mm pocisku AHEAD na różnych odległościach

*Źródło: [9]*

Naboje typu AHEAD po uruchomieniu zaprogramowanego na zadziałanie przed celem zapalnika uwalniają cały ładunek wolframowych pod pocisków, który, po uwzględnieniu ruchów nutacyjnych, przemieszcza się w wąskim kącie rozlotu wynoszącym kilkanaście stopni. Taki sposób dystrybucji odłamków pozwala uzyskać na stosunkowo dużych odległościach od miejsca rozcalenia pocisku ekstremalnie duże gęstości odłamków skutecznych (rys. 12), które są nieosiągalne nawet w przypadku pocisków do armat wielokrotnie większego kalibru. Dzięki takim charakterystykom oraz przy współdziałaniu z systemami detekcji, przekazującymi informacje o celu w czasie rzeczywistym, udaje się amunicją typu AHEAD przy stosunkowo małej intensywności ognia uzyskać wysoką skuteczność przeciwko celom typu RAM (**R**ocket, **A**rtillery, **M**ortar – pociski raketowe, artyleryjskie i moździerzowe).

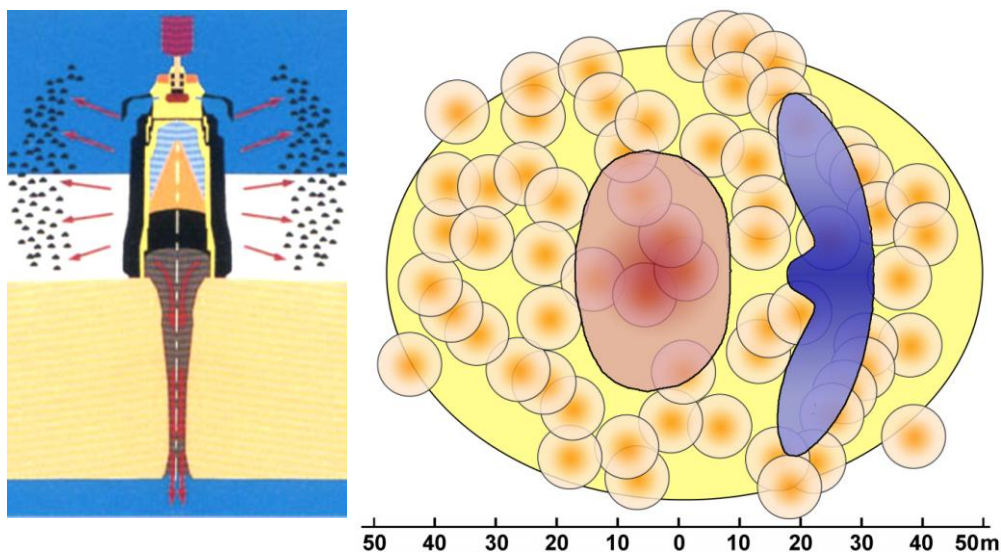
W licznych konstrukcjach pocisków odłamkowych osiągnięto już kres możliwości podwyższania skuteczności rażenia, dlatego zamiast nad konstrukcją unitarną po II wojnie światowej zaczęto prowadzić prace nad amunicją kasetową. Istota nowego rozwiązania sprowadzała się do zastosowania korpusu pocisku jako nosiciela pod pocisków, które wyrzucone nad celem po upadku na ziemi działały jak mniejsze wersje pocisków odłamkowych. Wieloletnie prace badawczo-rozwojowe doprowadziły do opracowania takich pod pocisków, które wyposażone były w ładunek kumulacyjny i otaczającą go wkładkę odłamkową. Rozwiązanie to pozwalało w przypadku trafienia w cel uzyskać także działanie przeciwpancerne (rys. 13). Pomimo niewielkiego promienia rażenia pojedynczego pod pocisku (zwykle około 5 m) sumaryczne pole wszystkich (nawet uwzględniając zachodzenie na siebie części z tych pól) stref rażenia było znacznie większe niż pole rażenia dla pocisku odłamkowego i to niezależnie od sposobu czy wysokości pobudzenia (rys. 13).



Rys. 12. Zdolność rażenia odłamkowego 35 mm amunicji typu AHEAD

Źródło: [9]

Ponadto, w przypadku zastosowania amunicji kasetowej, mamy do czynienia ze znacznie większym obszarem przestrzennego występowania zjawiska (rys. 13), co daje niebagatelny dodatkowy efekt psychologiczny tzw. „stalowego deszczu”.



Rys. 13. Sposób działania pod pocisku kumulacyjno-odłamkowego [10] oraz rozkład stref z 50 % prawdopodobieństwem porażenia dla pod pocisków wyrzuconych z 155 mm pocisku kasetowego oraz stref 155 mm pocisku odłamkowego zdetonowanego na gruncie przy kątach uderzenia 20° (kolor niebieski) i 60° (kolor czerwony)

Źródło: Opracowanie własne

#### 4. ZWIĘKSZANIE ZASIĘGU MAKSYMALNEGO POCISKÓW ORAZ POPRAWA CELNOŚCI I ROZRZUTU POCISKÓW U CELU

Jednym z istotniejszych parametrów, które decydują o efektywności amunicji, jest zasięg maksymalny pocisku. Można go zwiększać na dwa zasadnicze sposoby: poprzez dostarczenie większej energii pociskowi (np. wydłużenie luf dział, zwiększenie

wielkości ładunku miotającego) lub poprzez zmianę jego charakterystyk balistycznych. Ten pierwszy sposób wiąże się najczęściej z koniecznością ingerencji w konstrukcję działa, dlatego też obecnie do wydłużania zasięgu pocisków wykorzystuje się przede wszystkim ingerencję w jego konstrukcję. Historyczne sposoby poprawy zasięgu maksymalnego sprowadzały się do wydłużenia części ostrołukowej i zastosowania stożkowej części dennej. Ograniczeniem była tu jednak konieczność uzyskania stabilnego ruchu pocisku na torze lotu oraz wymagana objętość przenoszonego przezeń ładunku użytecznego (najczęściej materiału kruszącego). Dopiero uzyskane po II wojnie światowej znaczące postępy w dziedzinie inżynierii materiałowej przyczyniły się do opracowania nowszych rozwiązań konstrukcyjnych, które pozwoliły zastosować ostrołuk sięgający do tylnego zgrubienia środkującego. Taka konstrukcja, w połączeniu z umieszczonym w stożkowym dnie wgłębieniem, pozwoliła zwiększyć zasięg maksymalny niekiedy o ponad 20 % w stosunku do klasycznych rozwiązań. Jednak konieczność prowadzenia pocisku na niewielkich, skośnie ustawionych występach środkujących (rys. 14b) – funkcjonalnym odpowiedniku przedniego zgrubienia środkującego – przyczyniała się do znaczącego obniżenia trwałości dotychczas stosowanych luf. Wraz z nowymi pociskami (określane w literaturze skrótem ERFB-HB – **E**xtended **R**ange **F**ull **B**ore - **H**ollow **B**ase – pocisk dalekonośny pełnokalibrowy z wgłębieniem dennym) w wielu przypadkach opracowano wersje dział o bardziej wytrzymałych i często dłuższych lufach, co samo w sobie przyczyniło się do zwiększenia zasięgu uzyskiwanego przez stosowane dotychczas pociski.

Zastosowanie kombinowanego układu miotającego (z dodatkowym napędem raketowym – oznaczenie RAP – **R**ocket **A**ssisted **P**rojectile) spowodowało dalsze zwiększenie donośności pocisków, jednak przyrost ten okupiony został znaczącym zwiększeniem rozrzutu u celu. Na maksymalnym zasięgu wartość jednego odchylenia standardowego względem donośności dla pocisków RAP (rys. 14a) dochodziła niekiedy nawet do 1,5 % tej wartości, co przy zastosowaniu pocisków typu ERFB-HB niekiedy tylko przekraczało 0,35 %. Tak duże rozrzuty spowodowane były sposobem zwiększania zasięgu – silnik włączał się dopiero w pobliżu wierzchołkowej toru, przez co „podnosił” trajektorię, a lot po torze balistycznym odbywał się dłużej. Rozrzut czasów działania silnika (najczęściej nominalnie kilka sekund), rozrzut czasów jego włączenia, niewielkie różnice w ciągach oraz ewentualne asymetrie ciągu powodowały, że u celu uzyskiwało się niezbyt zadowalające skupienie pocisków.

Istotną poprawę zasięgu odnotowano, wprowadzając w miejsce stożkowego dna wkładkę z gazogeneratorem (BB – **B**ase **B**leed – gazogenerator), który do strefy przydennej, gdzie na skutek naddźwiękowego opływu strugi powietrza powstawało znaczące podciśnienie, generował strumień gazów prochowych. Dopływające przez kilkadziesiąt sekund gazy znacząco zmniejszały podciśnienie, co na skutek istotnego zmniejszenia oporu dennego umożliwiało zwiększenie zasięgu o kolejne kilkanaście, a w niektórych przypadkach, nawet ponad dwadzieścia procent w stosunku do pocisków typu ERFB-HB. Pociski ERFB-BB (rys. 14b) na maksymalnych odległościach uzyskiwały nieco gorsze skupienie niż ERFB-HB, ponieważ, w zależności od konstrukcji pocisku i stanu działa, uzyskiwały one wartość jednego odchylenia standardowego w donośności wynoszącą nawet 0,5 % zasięgu. Nowoczesne 155 mm pociski ERFB-HB wystrzeliwane z dział o lufach o długości 52 kalibrów (ok. 8 metrów) są w stanie uzyskać zasięg maksymalny znacznie przekraczający trzydzieści km, zaś pociski typu ERFB-BB nawet

ponad 41 km. Wersje pocisków RAP miały zasięgi zbliżone do pocisków ERFB-HB, ale po dalszym ograniczeniu masy ładunku kruszącego ich zasięg mógł przekraczać nawet 50 km (pocisk VLAP z RPA).

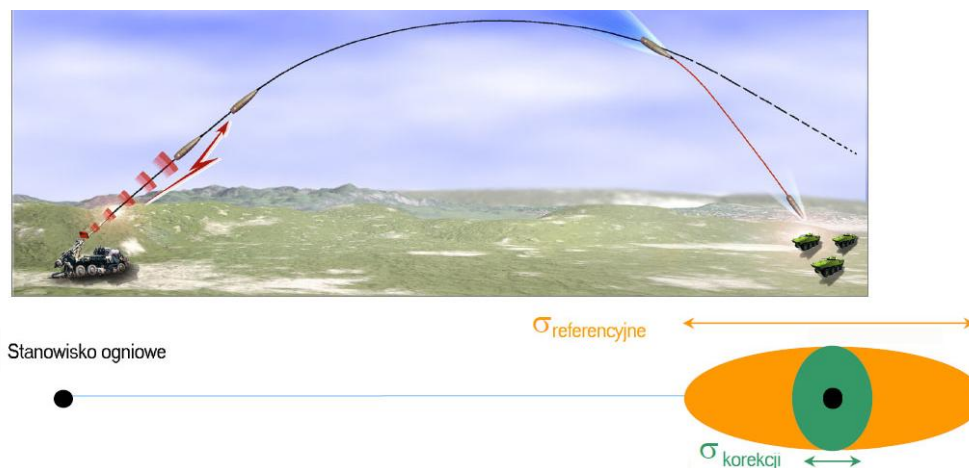


Rys. 14. 155 mm pociski dalekonośne: a – pocisk z dodatkowym silnikiem raketowym;  
b – pocisk z gazogeneratorem i wkładką z wgłębieniem dennym

*Źródło: [10]*

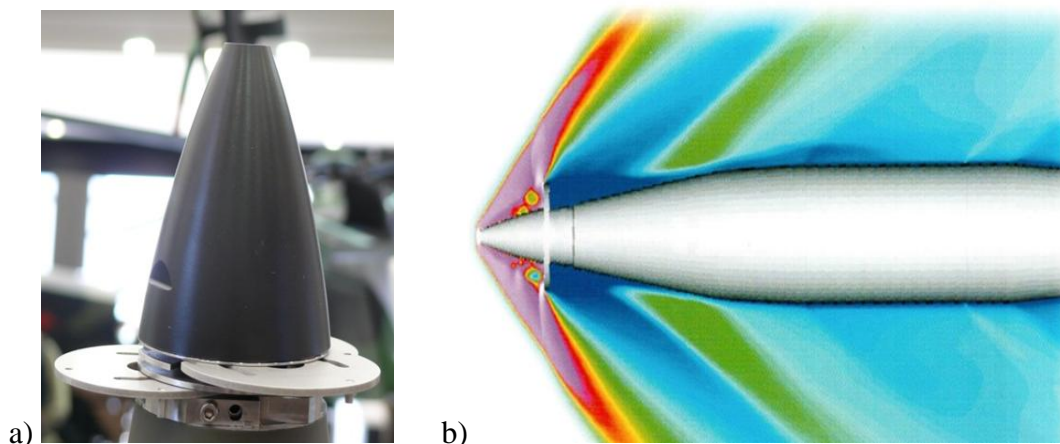
Zwiększenie donośności pocisków zawsze wiąże się z pogorszeniem skupienia, co szczególnie silnie uwidacznia się na dużych odległościach strzelania. Aby zapobiec tym niekorzystnym zjawiskom, podjęto prace mające na celu opracowanie modułów korekcji toru lotu pocisku. O ile w przypadku pocisków raketowych było to zadanie łatwiejsze, o tyle w przypadku pocisków artyleryjskich prace nad ich opracowaniem i wszechstronne badania jeszcze ciągle trwają. Związane jest to z chęcią zachowania maksymalnie dużych objętości korpusów pocisków z przeznaczeniem na ładunek użyteczny. Dlatego też w kilku wiodących projektach są one ukierunkowane na opracowanie modułu połączonego funkcjonalnie z zapalnikiem, który po wprowadzeniu do jego pamięci współrzędnych celu opracowuje taki algorytm wychyleń powierzchni oporowych, aby punkt uderzenia pocisku znajdował się jak najbliżej miejsca o zaprogramowanych współrzędnych (rys. 15). Dysponują modułem pozycjonowania satelitarnego (GPS), zapalnik w czasie rzeczywistym koryguje tor lotu pocisku, przy czym może być to tylko korekcja „w dół”, która umożliwia tylko skrócenie zasięgu.

Aby zwiększyć prawdopodobieństwo trafienia w cel lub w jego bezpośredniej bliskości, należy tak dobrać dane do strzelania, by pocisk miał możliwość uzyskania nieznacznie większego zasięgu niż jest wymagany w rzeczywistości. Przykładem takiego zapalnika jest francuska konstrukcja Spacido, gdzie do zwiększenia oporu czołowego (rys. 16b), niezbędnego do skorygowania toru lotu, wykorzystano trzy symetrycznie wysuwane powierzchnie kołowe, których powierzchnia jest prostopadła do osi podłużnej pocisku (rys. 16a). Odpowiednio sterowana przez mikroprocesor zapalnika wielkość i czas ich wysunięcia powoduje wymagane wyhamowanie pocisku na torze lotu, co w konsekwencji przekłada się na zmniejszenie zasięgu, ale również minimalizuje rozrzut pocisków u celu (rys. 15).



Rys. 15. Istota zmniejszenia rozrzutu w donośności poprzez korekcję toru lotu pocisku wyposażonego w zapalnik ze sterowanymi powierzchniami aerodynamicznymi

Źródło: [11]

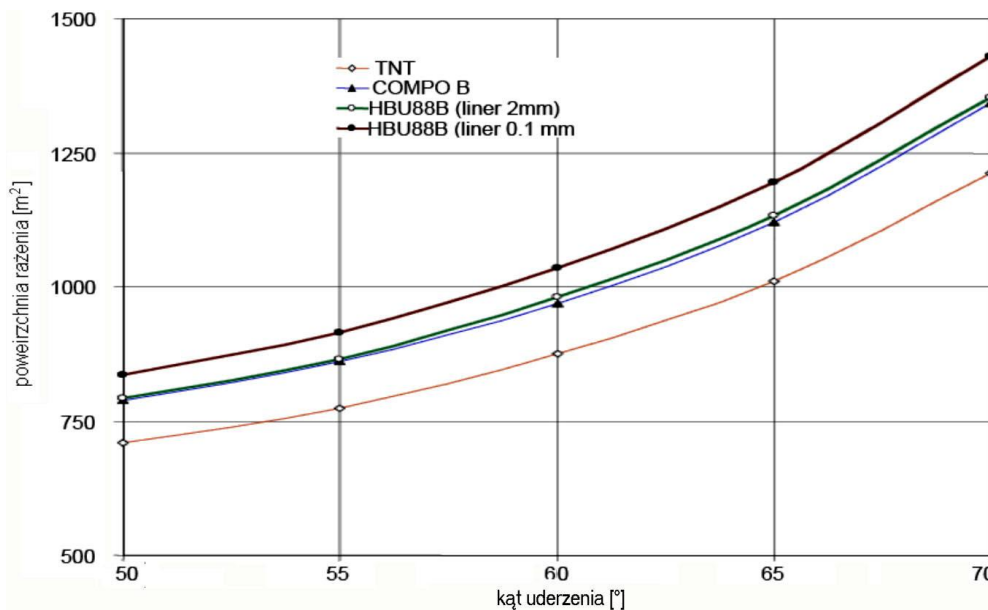


Rys. 16. Konstrukcja powierzchni oporowych zapalnika Spacido (a) oraz sposób zwiększania oporu czołowego na tych powierzchniach (b)

Źródło: [10]

Realizowane współcześnie programy uzbrojenia, mające na celu zwiększenie efektywności rażenia, ukierunkowane są na poprawę jednego lub kilku z opisanych powyżej aspektów działania. W nowoczesnych, dalekonośnych pociskach artyleryjskich coraz rzadziej stosuje się klasyczną fragmentację przypadkową, która ustąpiła miejsca fragmentacji wymuszonej lub najczęściej zamiast ładunku unitarnego pociski te są elaborowane podpociskami o odpowiednim sposobie działania. Zwykle są to podpociski kumulacyjno-odłamkowe, nieco rzadziej przeciwpancerne, samonaprowadzające się na cel. Zastosowanie korekcji toru lotu i dodatkowego samonaprowadzania podpocisku pozwala zwiększyć precyzję rażenia i ograniczyć do minimum możliwość samolikwidacji takiego drogiego środka bojowego na skutek wyrzucenia go nad rejonem, gdzie nie ma przeznaczonego do zniszczenia celu. Kompleksowe podejście do zagadnienia zwiększenia efektywności skutkuje uzyskaniem poprawy w każdym z opisywanych powyżej aspektów przy niewielkim wzroście mas pocisków. Ograniczenie przestrzeni w

korpusie pocisku na moduły korekcji, silnik raketowy czy dodatkowe powierzchnie nośne, dzięki którym zwiększa się zasięg (w przypadku 155 mm pocisków haubicznych nawet powyżej 70 km) kompensowane jest m.in. zastosowaniem silniejszych materiałów kruszących. Przy tej okazji nowoczesne pociski elaboruje się materiałami wybuchowymi o obniżonej wrażliwości na niedetonacyjne bodźce pobudzające, co w istotny sposób podnosi bezpieczeństwo użycia takiego środka bojowego w toku całego procesu eksploatacji. Przykładem takiego działania może być 120 mm francuski nabój moździerzowy, gdzie dla klasycznych elaboracji trotylem (TNT – TriNitroToluen) i jego mieszaniną z heksogenem (Compo B) uzyskano mniejsze strefy rażenia w całym przedziale kątów uderzenia niż dla materiałów wybuchowych o obniżonej wrażliwości (rys. 17).



Rys. 17. Wpływ rodzaju zastosowanego ładunku kruszącego na wielkość strefy rażenia odłamkami 120 mm pocisku moździerzowego (cel – żołnierze w postawie leżącej; w każdym przypadku zastosowano zapalnik zbliżeniowy)

Źródło: [12]

## PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu rozwiązań konstrukcyjnych pocisków artyleryjskich i tych ich charakterystyk, które mają wpływ na poprawę ich efektywności u celu można wysnuć następujące wnioski:

- 1) Taktyka wykorzystania amunicji artyleryjskiej powinna szeroko uwzględniać charakterystyki techniczne środków bojowych, dzięki czemu można, bez konieczności dokonywania zmian w konstrukcji pocisków, uzyskać większą efektywność rażenia (np. sposób działania zapalnika w zależności od ukształtowania terenu, wielkość ładunku miotającego – kąt upadku pocisku i korzystniejsza dystrybucja odłamków itp.).
- 2) Poprawa jakości jednego z parametrów (np. zasięgu maksymalnego) często skutkuje pogorszeniem innych charakterystyk decydujących o skuteczności rażenia (np. masa materiału wybuchowego, liczba i energia kinetyczna odłamków).
- 3) Poprawa efektywności rażenia zawsze wiąże się ze zwiększeniem kosztów zakupu



(i często eksploatacji) środków bojowych, jednak uzyskane dzięki poprawie ich charakterystyk użytkowych korzyści wskazują, że amunicja tego typu stanowić będzie poważny i stale wzrastający udział w jednostce ognia (dotyczy to szczególnie tzw. amunicji inteligentnej).

## LITERATURA

1. Gacek J., Koperski W., Marciniak B., *Strefy bezpieczeństwa strzelnicy pistoletowej i broni małokalibrowej*, Opinia naukowa, dokument dostępny w ITU WAT, Warszawa 2003.
2. Gacek J., *Strefy bezpieczeństwa strzelnic garnizonowych*, Opinia naukowa, dokument dostępny w ITU WAT, Warszawa 1998.
3. Courtney A., Courtney M., *Links between traumatic brain injury and ballistic pressure waves originating in the thoracic cavity and extremities*, [w:] "Brain Injury", no 21(7), 2007, pp. 657-662.
4. Никифоров Н.Н., Туркин П.И., Жеребцов А.А., Галиенко С.Г., *Артиллерия*, Воениздат МО СССР, 1953.
5. Heaton L.D., Coates Jr. J.B., Beyer J.C., *Wound ballistics*, Medical Department Of United States Army, Washington 1962.
6. *Effects & Weight of Fire. The Weapon of Artillery*, Fire Effect Committee British War Office.
7. Zecevic B., Catovic A., Terzic J., *Comparison of Lethal Zone Characteristics of Several Natural Fragmenting Warheads*, Central European Journal of Energetic Materials, no 5(2), 200867-81.
8. B-GL-306-006/FP-001 issued on the authority of the Chief of the Defence Staff *Field Artillery. Volume 6. – Ballistics and Ammunition*, DND Canada 1992.
9. Jakubczyk P., *Analiza rozwiązań konstrukcyjnych małokalibrowej amunicji artyleryjskiej pod kątem opracowania 35 mm naboju typu ABM*, praca końcowa na studiach I°, WAT Warszawa 2011.
10. Materiały informacyjne i reklamowe firm: Oerlikon Contraves, Rheinmetall, TDA, Giat Industries, Nexter oraz Denel.
11. Champion B., *SPACIDO 1D Course Correction Fuze*, 51-st Annual Fuze Conference, May 22-24, Nashville 2007.
12. Górski T., *Analiza rozwiązań konstrukcyjnych dalekonośnej amunicji moździerzowej*, praca końcowa na studiach I°, WAT Warszawa 2011.

## METHODS OF IMPROVING COMBAT EFFECTIVENESS OF HIGH-EXPLOSIVE AND HIGH-EXPLOSIVE-FRAGMENTATION PROJECTILES

### Summary

*The mechanism of the influence of shock wave and splinters on the different types of targets is shown in this paper. The construction of present-day artillery ammunition and the methods of improving the fragmentation effect in projectiles are described. Other aspects of projectile ef-*

*fectiveness (increasing maximum range, improving accuracy of fire) are characterised. The trends of evolution in high-explosive and high-explosive-fragmentation ammunition are presented in this article.*

**Keyword:** *fragmentation effect, projectile effectiveness, increase maximum range*