

NAUKI TECHNICZNE

Jerzy WALENTYNOWICZ*

PROBLEMY PASYWNEJ I AKTYWNEJ OCHRONY WOZÓW BOJOWYCH

W artykule przedstawiono wybrane problemy dotyczące pasywnej i aktywnej ochrony współczesnych wozów bojowych. Scharakteryzowano krótko scenariusze działania sił zbrojnych i zagrożenia, jakie wynikają z obecnie stosowanych przeciwpancernych środków bojowych, takich jak ręczne granatniki przeciwpancerne, przeciwpancerne pociski kierowane, pociski podkalibrowe, pociski kinetyczne oraz miny i improwizowane ładunki wybuchowe. Przedstawiono stosowane obecnie pasywne i reaktywne osłony wozów bojowych, chroniące załogi podczas uderzenia pocisków w pojazdy. Przeanalizowano fazy wykrywania zagrożenia oraz reakcji na występujące zagrożenia, w tym czas niezbędny na skuteczną odpowiedź systemu ochrony. Scharakteryzowano środki przeciwdziałania zagrożeniom pojazdów, stosowane w układach aktywnej ochrony. Przedstawiono właściwości niektórych opracowanych obecnie systemów aktywnej ochrony wozów bojowych oraz ich podstawowe parametry taktyczno – techniczne.

Słowa kluczowe: wozы bojowe, osłony pasywne, osłony aktywne, systemy osłony aktywnej

WSTĘP

Rywalizacja między środkami rażenia i środkami ochrony wojska rozpoczęła się od początku konfliktów zbrojnych. Z jednej strony doskonalono środki rażenia, które mogły działać z większej odległości, a z drugiej strony poszukiwano efektywnych środków ochrony własnych żołnierzy. Środki ochrony to doskonalone pancerz i tarcze, odporne na uderzenia takiej broni, jak lance, kopie, katapulty, a następnie broń palna (rys. 1a). Na ochron-

* prof. dr hab. inż. Jerzy WALENTYNOWICZ – Wojskowa Akademia Techniczna

ne pancerze były stosowane coraz trudniejsze do przebicia struktury, a wielowarstwowe pancerze z płytkami ceramicznymi znane były już w średniowieczu (rys. 1b).

W miarę rozwoju techniki, zaczęto stosować pojazdy opancerzone na podwoziu kołowym i gąsienicowym, osłonięte płytami o coraz większej grubości, co powodowało wzrost masy pojazdów. Gruby pancerz wozów bojowych powodował zwiększenie ich odporności na pociski, jednak równocześnie większa była masa pojazdów, co przy ograniczonej mocy gabarytowej silników stosowanych do napędu wozów bojowych powodowało ograniczenie ich prędkości oraz zdolności poruszania się po bezdrożach, a także problemy z szybkimi przerzutami wojska. Masa czołgów używanych w czasie II Wojny Światowej osiągnęła 70 ton (rys. 2a). Niewiele mniejsza jest masa współczesnych czołgów, aczkolwiek zastosowanie silników o większej mocy poprawiło ich prędkość maksymalną i zdolność pokonywania trudnego terenu (rys. 2b). Duża masa czołgów była wynikiem zwiększania grubości pancerza jako jedyne go sposobu ochrony pojazdu i jego załogi, niezbędnego do przetrwania na polu walki.

a)



b)



Rys. 1. Średniowieczne środki ochrony: a) zbroje płytowe, b) tarcza z płytkami ceramicznymi

Źródło: Opracowano na podstawie materiałów źródłowych

Wozy bojowe o bardzo dużej masie trudno jest szybko transportować do miejsc zagrożonych konfliktami zbrojnymi. Aby możliwe były szybkie przerzuty wojska, konieczne było obniżenie masy maksymalnej pojazdów i dostosowanie ich do transportu lotniczego. W efekcie analiz prowadzonych przez współczesne armie zdecydowanie stawia się na ograniczenie masy maksymalnej wozów bojowych, zapewniające możliwość transportu pojazdów samolotami, zdolnymi do lądowania także na lotniskach o gorszych nawierzchniach pasów startowych.

Na przykład wymagania amerykańskich sił zbrojnych, zdefiniowane w programie FCS (Future Combat System), zakładały ograniczenie masy bojowych wozów załogowych do 20 ton przy prędkości maksymalnej ok. 100 km/h. Ostatecznie zwiększono masę maksymalną do 30 t ze względu na powszechnie dostępne materiały konstrukcyjne oraz masę stosowanego uzbrojenia ze stali. Podobne ograniczenie masy maksymalnej na poziomie 30-35 ton zostało przyjęte przez inne armie. Ciężkie jednostki wojskowe wyposażone w czołgi o masie 50 - 60 ton będą systematycznie redukowane na rzecz jednostek lekkich. Jednak zapewnienie bezpieczeństwa załogom lżejszych pojazdów wymaga udoskonalenia zarówno pancerzy tych pojazdów odpornych na pociski, odłamki i falę uderzeniową po wybuchach ładunków, jak również zastosowania metod zwalczania zagrożeń w bezpiecznej odległości od pojazdu. Dlatego doskonalone są zarówno pasywne, jak również aktywne metody osłony pojazdów i ich załóg.

a)



b)



Rys. 2. Czołgi ciężkie: a) Tygrys o masie 70 ton, b) Merkava 4 o masie 65 ton

Źródło: Opracowanie własne

1. SCENARIUSZE DZIAŁANIA I ZAGROŻENIA WOZÓW BOJOWYCH

Zagrożenia wozów bojowych zależą od rodzaju i miejsca misji sił zbrojnych oraz od rodzaju środków ogniowych, jakie są wykorzystywane podczas tych misji. Współczesne wozy bojowe muszą być przygotowane zarówno do patrolowania, osłony konwojów, misji interwencyjnych i stabilizacyjnych, jak również do prowadzenia regularnych działań bojowych na terenie otwartym oraz zurbanizowanym, coraz częściej o bardzo wysokiej i gęstej zabudowie. Już za 10-15 lat w miastach będzie żyło ponad 75 procent ludzi, a w państwach wysoko uprzemysłowionych udział ten może być dużo większy. Wymaga to uwzględnienia specyficznego działania na terenie zurbanizowanym oraz odpowiedniego wyposażenia i wyszkolenia wojska. Jakkolwiek na terenie otwartym uderzenia przeciwnika można się spodziewać z określonego kierunku, to na terenie zurbanizowanych zarówno azymut, jak również elewacja uderzenia są bardzo trudne do przewidzenia. Ponadto ataki z tego samego miejsca mogą być wielokrotnie ponawiane, co dodatkowo zwiększa szansę na zniszczenie atakowanego pojazdu. Wozy bojowe mogą być także zagrożone podczas postoju (w tym w obozach) poprzez uderzenia na pojazdy głównie z góry za pomocą broni stromotorowej lub pocisków wystrzeliwanych z samolotów.

PROBLEMY PASYWNEJ I AKTYWNEJ OCHRONY WOZÓW BOJOWYCH

Zagrożenia wozów bojowych w warunkach regularnej wojny wynikają z możliwości użycia wielu środków rażenia, do których można zaliczyć:

- przeciwpancerne pociski kinetyczne, w tym pociski podkalibrowe o małym, średnim i dużym kalibrze;
- pociski ręcznych granatników przeciwpancernych z pojedynczymi lub podwójnymi głowicami (rys. 3a);
- przeciwpancerne pociski kierowane;
- różnego rodzaju bomby, w tym bomby z wybuchowo formowanymi penetratorami rażącymi strop pojazdu;
- miny denne i burtowe, w tym miny i improwizowane ładunki z wybuchowo formowanymi penetratorami (rys. 3b i 3c).

W warunkach działań interwencyjnych i stabilizacyjnych rodzaje używanych środków rażenia są praktycznie ograniczone do pocisków z ręcznych granatników przeciwpancernych, przeciwpancernych pocisków kierowanych oraz min dennych i burtowych, które mogą być uzbrojone również w ładunki z wybuchowo formowanymi penetratorami. Są to środki stosowane masowo obecnie w Iraku i Afganistanie, aczkolwiek nie można wykluczyć użycia dwóch pozostałych rodzajów środków rażenia, czyli przeciwpancernych pocisków kierowanych i pocisków podkalibrowych (małego i średniego kalibru). Być może będą miały one uproszczoną konstrukcję, wynikającą z ograniczonych możliwości produkcyjnych takiej broni w małych warsztatach i jej dostępności w nieoficjalnym obrocie. Nie można wykluczyć także zagrożenia pociskami podkalibrowymi małego kalibru (12,7 lub 14,5 mm).



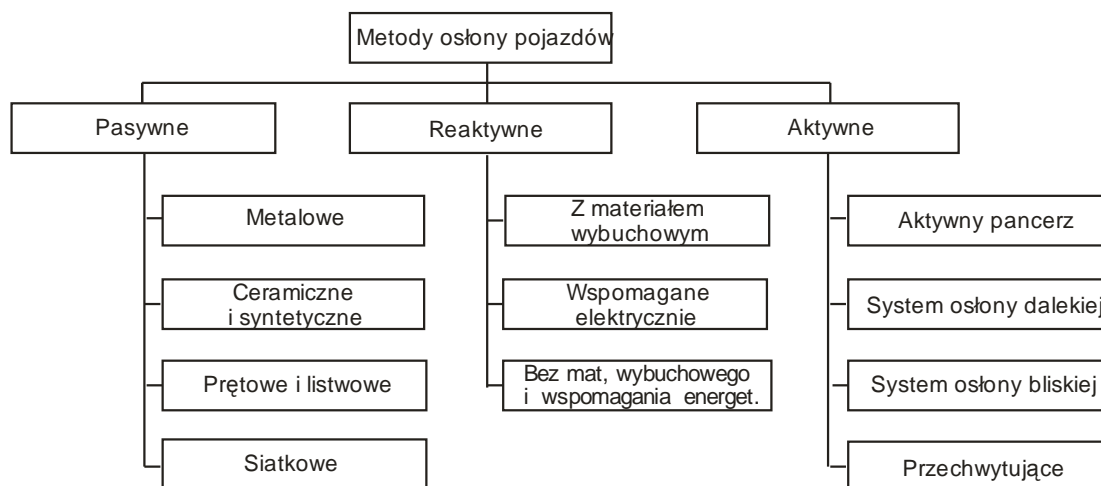
Rys. 3. Wybrane przykłady zagrożeń w konfliktach asymetrycznych: a) ręczne granatniki przeciwpancerne, b) penetratory formowane wybuchowo, c) miny

Źródło: Opracowano na podstawie materiałów internetowych

Metody osłony wozów bojowych i ich załóg można podzielić na trzy kategorie:

- pasywne, przyjmujące całą energię pocisków;

- reaktywne, reagujące na uderzenie pocisku;
- aktywne, które niszczą lub osłabiają pociski przed uderzeniem w pojazd (rys. 4).



Rys. 4. Metody osłony wozów bojowych

Źródło: Opracowanie własne

2. OSŁONY PASYWNE I REAKTYWNE

Najstarszym sposobem obrony wozów bojowych były jedno lub wielowarstwowe pasywne osłony płytowe. Później zaczęto stosować także osłony reaktywne, które zawierały materiał wybuchowy reagujący w chwili uderzenia pocisku w osłonę. Jednak zwiększanie grubości wymiarów pojazdów i ciężaru osłon przez dodatkowe opancerzenie powoduje znaczne zmniejszenia mobilności i manewrowości pojazdów, szczególnie po bezdrożach i w terenie zurbanizowanym. W Afganistanie i w Iraku szereg pojazdów wyposażono w osłony zewnętrzne w postaci osłon płytowych lub kratownic na zewnątrz pojazdów, które miały chronić pojazdy przed atakami RPG (rys. 5a).

Kratownice powodowały przerywanie połączenia między piezoelektrycznym zapalnikiem i ładunkiem wybuchowym granatu z RPG. Prostym sposobem pokonanie tych osłon było założenie puszek po napoju na pocisk odpalony z bliskiej odległości w kierunku pojazdu. Zdetonowanie ładunku w większej odległości do pojazdu osłabiało strumień kumulacyjny, ale było wystarczające do przebicia burty pojazdu lekko opancerzonego. Skuteczność ochronna elementów kratowych zależała także od miejsca i kąta trafienia pojazdu pociskiem. Bardziej skuteczne, a jednocześnie lżejsze są elastyczne struktury siatkowe wykonane z drutu stalowego o bardzo dużej wytrzymałości lub z włókien węglowych. Uginając się, powodują one ponadto odchylenie toru lotu pocisku z granatnika, co nawet po zdetonowaniu materiału wybuchowego zdecydowanie osłabia działanie strumienia kumulacyjnego na pancerz pojazdu.

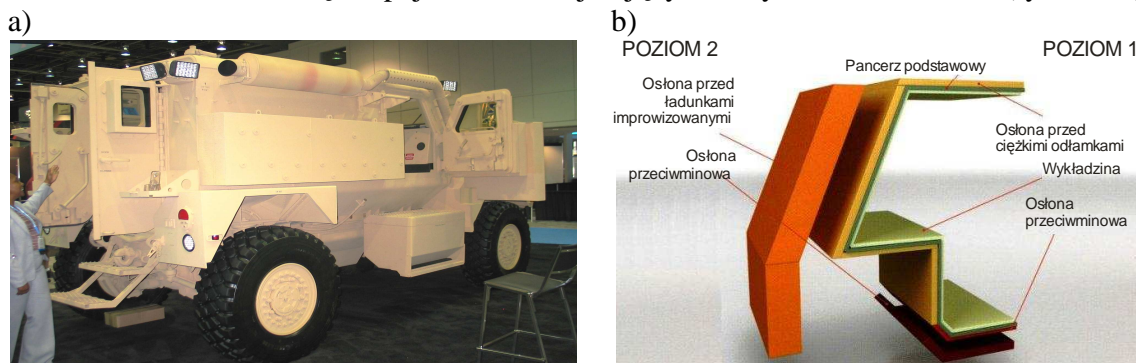


Rys. 5. Osłony pasywne i reaktywne wozów bojowych: a) osłona prętowa, b) wielowarstwowa struktura ochronna, c) ładunki osłony reaktywnej prostopadłe, d) ładunki osłony reaktywnej pochylonej

Źródło: Opracowanie własne

Powszechnie stosowanym rodzajem osłon pojazdów przed pociskami przeciwnika są obecnie panczerze reaktywne, działające w chwili uderzenia pocisku w segment takiego panczerza. Można je podzielić na dwa rodzaje: z płytkami ustawionymi w przybliżeniu prostopadle do kierunku nadlatującego pocisku z silnym ładunkiem wybuchowym (np. system ERAWA, rys. 5c) lub panczerze ze słabszym materiałem wybuchowym oraz płytkami ustawionymi skośnie do kierunku nadlatującego pocisku (systemy trzeciej generacji np. system rosyjski Kontakt 5 lub systemy izraelskie, rys. 5d). Duże pochylenie płytek względem strumienia kumulacyjnego (penetratora) w czasie formowania i działania tego strumienia na ruchomą płytkę powoduje wzajemne przemieszczanie się strumienia i płytki oraz przepalanie płytki w postaci podłużnego otworu. Wydłuża to czas przejścia penetratora przez płytkę i większe rozproszenie energii penetratora. Natomiast w przypadku uderzenia pocisku podkalibrowego następuje wygięcie grota wbitego w ruchomą płytkę, które może prowadzić do odchylenia kierunku jego lotu lub nawet złamanie i defragmentację pocisku podkalibrowego.

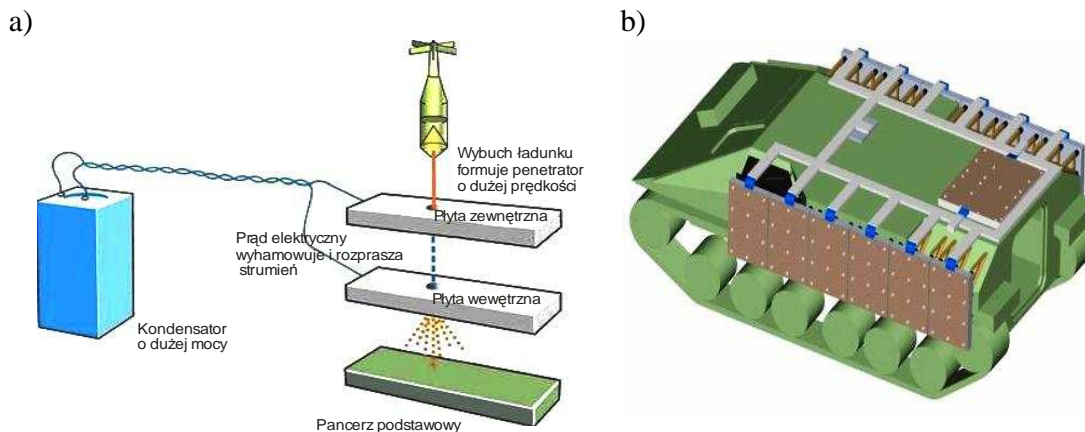
Współczesne pancerne osłony wozów bojowych stanowią wielowarstwowe struktury, które zwiększają odporność osłon na oddziaływanie improwizowanych ładunków wybuchowych oraz wybuchów min dennych, a jednocześnie ograniczają perforację nadwozia i przenikanie odłamków do wnętrza pojazdu i zmniejszają tym samym rażenie desantu (rys. 6a i b).



Rys. 6. Dodatkowe osłony pojazdów: a) MRAPV Cougar, b) rodzaje dodatkowych osłon

Źródło: Opracowanie własne

Reaktywną metodą osłony pojazdów przed pociskami kumulacyjnymi są także osłony elektryczne składające się z dwóch równoległych płyt połączonych z kondensatorem o dużej pojemności i mocy (rys. 7). Penetrator uformowany pod wpływem wybuchu ładunku kumulacyjnego przebijając się przez płyty, zwiiera obwód elektryczny, co z kolei powoduje osłabianie energii penetratora i jego rozproszenie. Problemem praktycznego zastosowania tej metody są stosunkowo duże gabaryty kondensatora. Rozwój technologii umożliwił ostatnio znacznie zmniejszenie tych gabarytów przy zachowaniu dużej wydajności kondensatora.



Rys. 7. Osłony wspomagane elektrycznie: a) zasada działania, b) rozmieszczenia osłon na pojeździe

Źródło: Opracowanie własne

3. AKTYWNE OSŁONY POJAZDÓW

3.1. Rodzaje aktywnej osłony pojazdów

Zadaniem aktywnej osłony pojazdu jest reakcja systemu odpowiednio wcześniej przed uderzeniem pocisku w pojazd. Osłonę aktywną pojazdów można podzielić na „osłonę miękką” (Soft Kill) i „osłonę twardą” (Hard Kill). Osłona miękką polega na zakłóceniu lotu pocisku lub jego sterowania bądź chwilowe maskowanie pojazdu w celu uniknięcia celnego trafienia. Środkiem użytym w tym celu może być zasłona dymna o właściwościach multi-spektralnych lub zakłócanie elektrooptyczne systemu odpalania bądź kierowania pociskiem. Powszechnie stosowana zasłona dymna maskuje pojazd po stwierdzeniu jego namierzenia przez celowniki laserowe przeciwnika, jednak jest to metoda bardzo wrażliwa na ruchy powietrza. Nawet małe podmuchy wiatru mogą uniemożliwić postawienie zasłony lub szybko ją usunąć (rys. 8). Pod względem czasu reakcji „osłony miękkie” można zaliczyć do systemów sekundowych, co powoduje, że najmniejsza odległość zwalczania zagrożenia wynosi kilkaset metrów przed celem. Systemy takie nie mają zdolności obronnej przed wyrzutniami RPG, które są używane przede wszystkim na terenach miejskich, w niewielkiej odległości od pojazdu.

Systemy aktywnej ochrony (Active Protection System) określane jako „osłona twarda” mają za zadanie zniszczenie zagrożenia lub jego defragmentację na niegroźne odłamki w pewnej odległości od pojazdu. Działanie tych systemów można podzielić na następujące fazy:

- rozpoznanie, analiza i weryfikacja zagrożenia;
- śledzenie celu, wybór i naprowadzenie środka przeciwdziałającego;
- decyzja o uruchomieniu środka przeciwdziałającego;
- zniszczenie lub zmniejszenie zagrożenia w określonym punkcie przechwycenia.

a)



b)



Rys. 8. Zasłona dymna: a) wystrzelenie granatów dymnych, b) ustawienie zasłony

Źródło: Opracowanie własne

Masowo stosowaną obecnie bronią przeciwpancerną są granatniki ręczne, oznaczane powszechnie jako RPG. Są one na wyposażeniu armii 62 państw (rys. 9a). Mogą być stosowane podczas ataków z wielu miejsc wokół pojazdu, w tym także z wyższych pięter budynków. Przy prędkości wylotowej 120 m/s, jaką może rozwinąć pocisk z RPG-7, pocisk z tego granatnika pokonuje dystans około 42 m w ciągu 350 ms, czyli system taki działa efektywnie podczas ataku z odległości większej niż ten dystans.

Przeciwpancerne pociski kierowane mają większą prędkość lotu, a ponadto mogą uderzać w pojazd pod różnym kątem. Masowo produkowane pociski pierwszej generacji były prowadzone podczas lotu w sposób ciągły przez operatora i uderzały bezpośrednio w burty pojazdów (rys. 9b). Były odpalane z wyrzutni ręcznych lub wyrzutni umieszczonych na pojazdach. Jeden z najliczniej wyprodukowanych pocisków tej klasy, 9M14 Malutka, wdrożony w roku 1963 i używany także obecnie, porusza się z prędkością 120 m/s, a przy minimalnym zasięgu 500 m czas od startu do uderzenia w cel wynosi 4 sekundy, co umożliwia zastosowanie środków maskujących pojazd.

a)



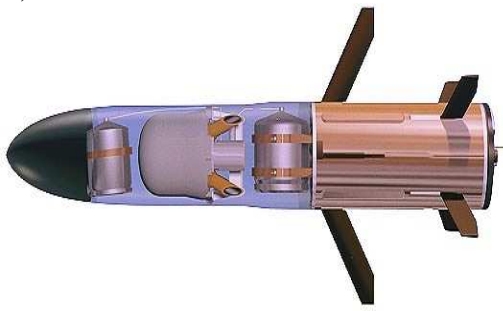
b)



c)



d)



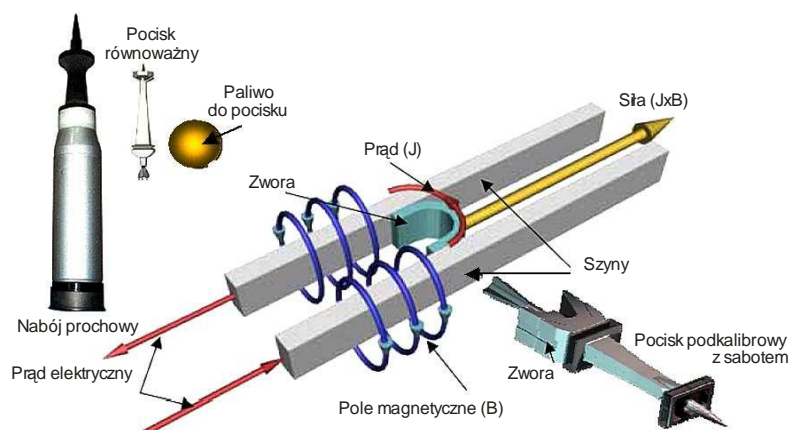
Rys. 9. Pociski przeciwpancerne: a) RPG-7, b) 9M14 Malutka, c) FMG-148 Javelin, d) BILL 2

Źródło: Opracowanie własne

Przeciwpancerny pocisk raketowy FMG-148 Javelin, wprowadzony na uzbrojenie w roku 1986, został zaprogramowany do atakowania celów z góry (rys. 9c). Podczas ataku z większego dystansu, po opuszczeniu wyrzutni, pocisk wznosi się na wysokość około 160 m i poruszając się na tym pułapie, atakuje cel pod kątem około 45°. Prędkość maksymalna pocisku wynosi 290 m/s. Pocisk może być użyty do ataku na cele w odległości od 50 do 2000 m.

Po wystrzeleniu z wyrzutni, szwedzki pocisk BILL 2, leci w kierunku celu na wysokości około 1 metra powyżej celu (rys. 9d). Przelatując nad pojazdem, prostopadłe do kierunku lotu pocisku detonowana jest podwójna głowica bojowa z wybuchowo kształtowanym penetratorem. Pocisk ma czujnik optyczny (laserowy) do bieżącej kontroli wysokości lotu. Detonacja ładunku odbywa się na podstawie wskazań czujnika optycznego i magnetycznego. Efektywny zasięg pocisku wynosi 150 – 2200 m, a jego maksymalna prędkość lotu osiąga 170-190 m/s.

Podczas regularnych konfliktów zbrojnych istotnym zagrożeniem są pociski podkalibrowe. Poruszając się z prędkością wylotową 1400-1900 m/s, mają one dużą energię kinetyczną, dzięki dużej prędkości lotu i gęstości materiału. Groty pocisków mają średnicę 20 – 30 mm i długość 500 – 600 mm. Efektywność przebicia pancerza przez te pociski zależy w dużym stopniu od kąta uderzenia w pancerz. Jeszcze większą prędkość wylotową mogą mieć pociski podkalibrowe z dział elektromagnetycznych. Ich prędkość wylotowa może być dwu – trzykrotnie większa w porównaniu z pociskami podkalibrowymi z armat prochowych, co powoduje, że taką samą energię uderzenia można uzyskać za pomocą dużo mniejszych pocisków (rys. 10). Mniejsze pociski są jednocześnie trudniejsze do wykrycia i zniszczenia.



Rys. 10. Zasada działania działa elektromagnetycznego

Źródło: Opracowanie własne

Coraz częściej w konfliktach niesymetrycznych są używane improwizowane miny lądowe wykonane z różnych materiałów zastępczych (granaty, pociski artyleryjskie, niewybuchy itd.), dawniej nazywane fugasami, a obecnie powszechnie stosowany jest ich angielski akronim „ajdik” (Improvised Explosive Device). Bardzo często są one wykonywane w postaci ładunków z wybuchowo formowanym penetratorem. Miny takie są umieszczane pod powierzchnią lub obok dróg szlaków komunikacyjnych, po których poruszają się pojazdy wojskowe. Jeżeli ładunki te są dobrze ukryte i zamaskowane, wtedy bardzo trudne jest ich wykrycie.

Podczas misji stabilizacyjnych i konfliktów asymetrycznych, podstawowe zagrożenia wynikają ze stosowania przez przeciwnika pocisków z ręcznych granatników przeciwpancernych, pocisków kierowanych oraz improwizowanych min lądowych. Szacowany czas reakcji układu aktywnej osłony przed tymi środkami rażenia zawiera się w bardzo szerokim przedziale czasu, co przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Prognozowane czasy reakcji na wybrane zagrożenia

Zagrożenie	Minimalna odległość zniszczenia, MOZ, m	Akceptowana odległość zniszczenia, OZ, m	Prognozowana prędkość pocisku, V, m/s	Czas reakcji, TRS, ms
Pociski z granatników (RPG)	30	5	120	208
Pociski kierowane (ATM)	200	5	200	975
Improwizowane miny lądowe (IED-EFP)	5	2	1800	1,7

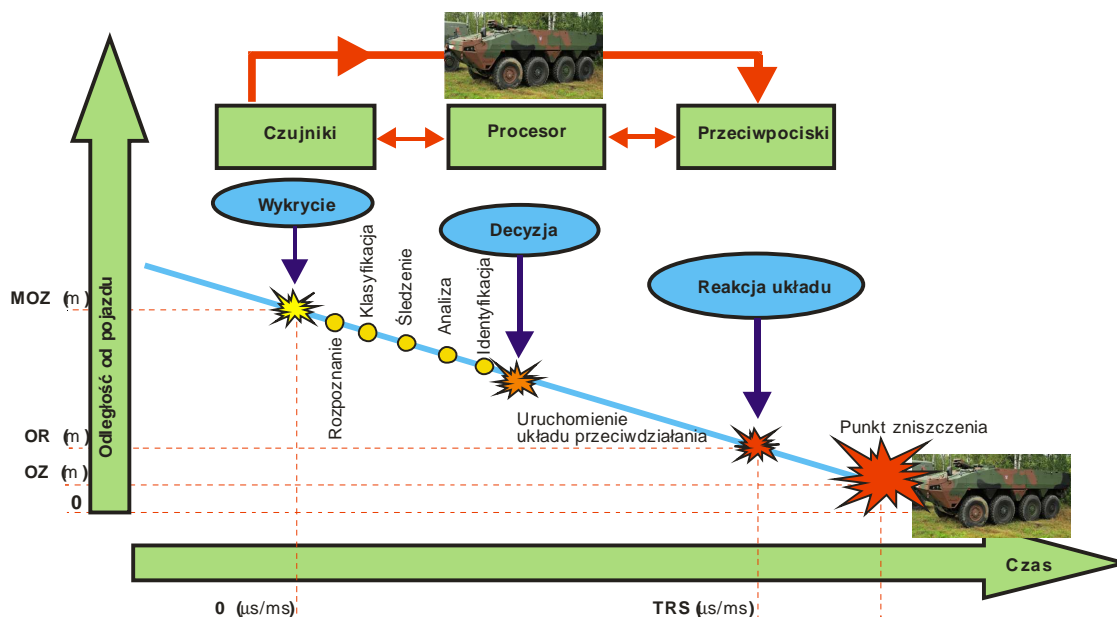
Źródło: Opracowanie własne

3.2. Parametry systemów aktywnej ochrony

Działanie systemu aktywnej ochrony można podzielić na kolejne etapy przedstawione na rysunku 11. Pocisk wystrzelony w kierunku pojazdu jest wykrywany przez system rozpoznania otoczenia, który przeszukuje górną strefę wokół pojazdu za pomocą systemów pasywnych z czujnikami działającymi w podczerwieni IRS, nadfiolecie UVS lub paśmie widzialnym, a także za pomocą urządzeń aktywnych, w tym różnego rodzaju radarów. Komputer współpracujący z systemem śledzenia identyfikuje, analizuje i śledzi trajektorię lotu pocisku, ustalając przy tym potencjalne jego zagrożenie dla chronionego obiektu. W przypadku zakwalifikowania obiektu do obiektów niebezpiecznych, uruchamiane są środki przeciwdziałania. Do środków przeciwdziałających zagrożeniom można zaliczyć środki aktywne, takie jak granaty z materiałem wybuchowym, granaty de fragmentujące się na dużą liczbę odłamków, kasety z odłamkami, środki odchylające strumień kumulacyjny, wiązki wielu pocisków formowanych wybuchowo, promieniowe lub osiowe głowice z ładunkiem kumulacyjnym, amunicja zapalająca, optoelektronicznie kierowane ładunki energetyczne, ładunki masowe wyrzucane wybuchowo lub elektrycznie, w tym ładunki zmieniające pęd pocisku i inne.

W punkcie przechwytywania obliczonym przez komputer dochodzi do oddziaływania lub uderzenia środka obronnego na nadlatujący pocisk. Efektem tego powinno być unieszkodliwienie środków przeciwpancernych, takich jak na przykład zdeformowanie strumieni kumulacyjnych lub pocisków formowanych wybuchowo, defragmentacja pocisków podkalibrowych bądź odchylenie ich trajektorii lotu tak, aby uderzenie pocisku odbyło się pod niegroźnym kątem lub co najwyżej aby uderzyły odłamki takich pocisków, nie prowadzące do przebicia pancerzy. Innym efektem działania przeciw pocisków jest niszczenie zapalników lub systemów naprowadzania pocisków.

PROBLEMY PASYWNEJ I AKTYWNEJ OCHRONY WOZÓW BOJOWYCH



Rys. 11. Etapy działania systemu aktywnej kontroli w czasie

Źródło: Opracowanie własne

W zależności od położenia punktu zniszczenia OZ zagrażającego pocisku układy aktywnej ochrony można podzielić na:

- bliskiego zasięgu do 2 m;
- średniego zasięgu od 2 do 30 m;
- dalekiego zasięgu powyżej 30 m.

Biorąc pod uwagę czas potrzebny na reakcję systemu TRS (odszukanie i rozpoznanie celu oraz jego identyfikacja i przeciwdziałanie do chwili spotkania pocisku i przeciwpocisku) rozróżniane są trzy klasy międzynarodowe takich systemów:

- system mikrosekundowy, $TRS < 1000 \mu s$, oznaczany także μs -APS;
- system milisekundowy, $1 < TRS < 1000 ms$, oznaczany także ms -APS;
- system sekundowy, $TRS \geq 1 s$, oznaczany jako s -APS.

Decydujące znaczenie dla systemów aktywnej ochrony ma minimalna odległość zwalczania zagrożeń (MOZ). Odległość ta zależy od:

- czasu reakcji systemu (TRS);
- prędkości zbliżania się pocisku (V);
- odległości punktu spotkania pocisku i przeciwpocisku od pojazdu (OZ).

Minimalna odległość zwalczania zagrożeń (MOZ) jest iloczynem prędkości zbliżania się pocisku (V) i czasu reakcji systemu (TSR) plus, wymagana odległość

zniszczenia pocisku od pojazdu. Odległość ta w dużym stopniu zależy od prędkości pocisku zagrażającego pojazdowi. Wartości minimalnej odległości reakcji na obiekt będący zagrożeniem dla pojazdu i jego zwalczanie, zależy od prędkości tego obiektu. Wyniki obliczeń tego parametru dla różnych rodzajów obecnie stosowanych pocisków przedstawiono w tabeli 2. Obliczenia zostały wykonane dla założonej prędkości pocisku oraz danych niektórych systemów aktywnej ochrony pojazdów przedstawionych w tabeli 3:

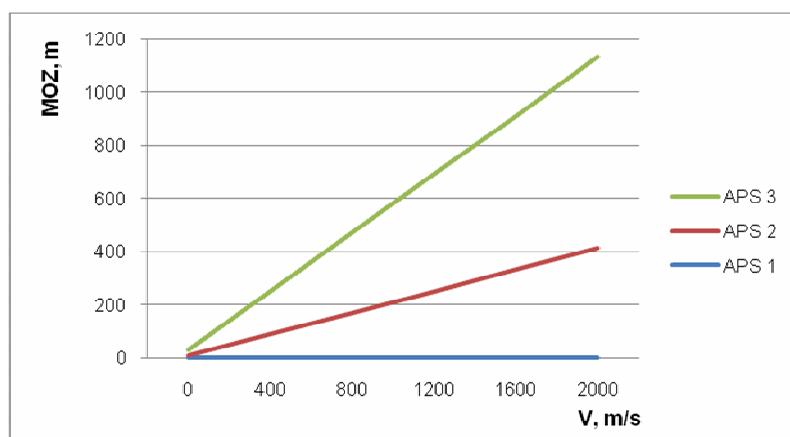
- systemu AMAP (TRS = 560 μ s, OZ = 1,5m, oznaczenie μ s-APS1);
- systemu LEDS 150 (TRS = 200ms ? (czas przyjęty szacunkowo), OZ = 10m, oznaczenie ms-APS2);
- systemu obejmującego uśrednione dane z systemów milisekundowych wymienionych w tabeli 3 (TRS = 350ms, OZ = 20m, oznaczenie ms-APS3).

Tabela 2. Minimalna odległość zwalczania celów dla trzech różnych klas systemu aktywnej ochrony

Rodzaj uzbrojenia	Założona prędkość pocisku, V, m/s	Minimalna odległość zwalczania, MOZ, m		
		μ s-APS1	ms-APS2	ms-APS3
RPG Z PG 7VR	100	1,556	30	55
RPG - podstawowy	200	1,612	50	90
RPG-29	450	1,752	100	177,5
Pocisk kumulacyjny	1100	2,116	230	405
Pocisk podkalibrowy	1800	2,508	370	650
Pocisk formowany wybuchowo	2000	2,62	410	720

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie danych z tabeli 2 wykonano wykresy minimalnej odległości zwalczania w funkcji prędkości pocisku, przedstawione na rysunku 12. Z wykresu tego wynika, że minimalna odległość zwalczania dla określonego systemu APS (charakteryzującego się czasem reakcji systemu) zależy silnie od prędkości pocisku. Gdy zostanie on wystrzelony w odległości mniejszej niż wartość MOZ, wtedy system może nie zareagować i skutecznie obronić pojazd. Stosowane obecnie powszechnie systemy milisekundowe mogą być wykorzystane do zwalczania co najwyżej pocisków z RPG ($V = 120$ ms) odpalanych z odległości ok. 60 m. Gdy pocisk zostanie wystrzelony z odległości mniejszej, wtedy system może nie zareagować i obronić pojazd przed atakiem. W przypadku systemów mikrosekundowych prędkość przemieszczania się zagrożenia nie jest istotna i tylko takie systemy są skuteczne w walce na bliską odległość.



Rys. 12. Minimalna odległość zwalczania w funkcji prędkości zagrożenia (pocisku)

Źródło: Opracowanie własne

3.3. Przykłady współczesnych systemów aktywnej ochrony pojazdów

Skuteczność działania systemu aktywnej ochrony pojazdów można ocenić na podstawie stosowanych technologii, w tym:

- rodzaju i sprawności systemu czujników do wykrycia, analizy i weryfikacji zagrożenia;
- rodzaju i sprawności systemu śledzącego;
- rodzaju i sprawności wyrzutni przeciw pocisków;
- czasu reakcji systemu (TRS), minimalnej odległości zwalczania (MOZ), minimalnej odległości zniszczenia zagrożenia od zewnętrznej powierzchni pojazdu (OZ);
- rozmiaru szkód ubocznych.

Przykładem zespołu wykrywającego i śledzącego zagrożenia może być moduł opracowany przez firmy TNO Defensie & Veiligheid en Thales Nederland, przeznaczony do systemu aktywnej ochrony pojazdów (rys. 13a). Pojedynczy autonomiczny moduł składa się z radaru FMCW z odchylaną wiązką o częstotliwości 10 GHz oraz dwóch niechłodzonych kamer na podczerwień w technologii LION o rozdzielczości 320x240 pixeli. Cały moduł ma masę 25 kg i wymiary gabarytowe 50x30x40cm.

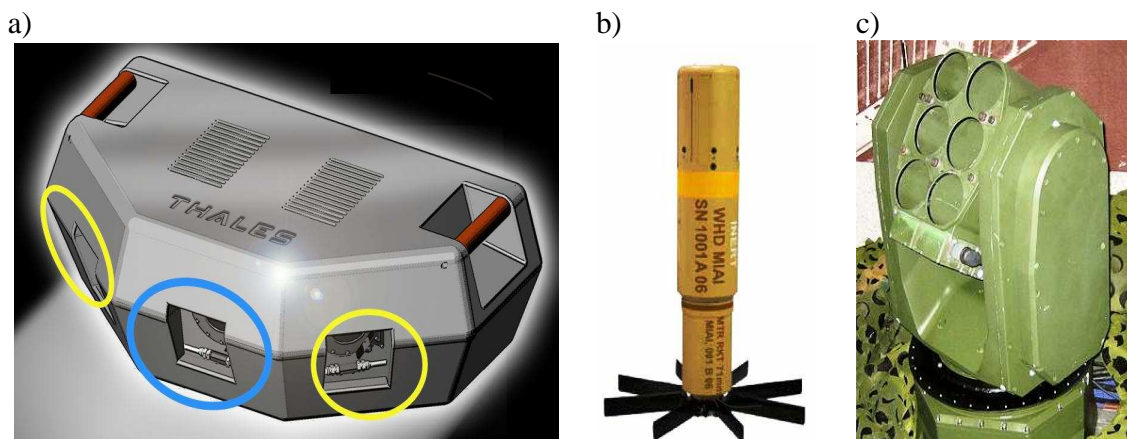
Przykładem przeciw pocisku może być granat Mongoose wystrzeliwany z sześciolufowej wyrzutni szwedzkiego systemu aktywnej ochrony LEDS-150. Jest on detonowany w odległości 5 – 15 metrów od ochranianego pojazdu, co ma za zadanie zminimalizowanie ewentualnego oddziaływania na wojska własne (rys. 13b i c).

Zestawienie parametrów wybranych, znanych już systemów aktywnej ochrony pojazdów, podawanych przez producentów przedstawiono w tabeli 3 (mogą one odbiegać od rzeczywistych parametrów).

Tabela 3. Parametry niektórych systemów aktywnej ochrony pojazdów

Oznaczenie systemu	AMAP ADS	AwiSS	AwiSS light	Quick-Kill	ASPRO-A (Trophy heavy)	ASPRO-A -L (Trophlighty)	Iron Fist	LEDS 150
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Firma /kraj	ADS GmbH / Niemcy	Diehl BGT Defen- ce/ Niemcy	Diehl BGT Defen- ce/ Niemcy	Raytheon/USA	Rafael/Izrael	Rafael/Izrael	IMI/Izrael	Saab Avitronics/ Szwecja; Afryka Południowa
System czujników	Czujnik pasywny śledzący, taktyczny radar	Radar na falach milimetrycznych, czujnik IR,	Czujnik IR, radar na falach mili- metrycznych	Radar skanujący (aktywny)	Płaski radar panelo- wy z 4 stron pojazdu o	Płaski radar panelo- wy z 4 stron pojazdu o	Płaski radar panelo- wy z 4 stron pojazdu o	Aktywny radar, urządzenie śledzące IR
Rodzaj środka zwalczania zagrożenia	Optoelektronicznie kierowane małe ładunki materiału wybuchowego umieszczone na burtach pojazdu	Granaty podmucho- we (3 kg) (odłamko- wy), 2 wyrzutnie po 2 (3) lufy każda,	Granaty podmucho- we (3 kg) (odłamko- wy), 2 wyrzutnie po 3 lufy każda,	Granaty podmucho- we 1 wyrzutnia z 8 pociskami kierowa- nymi lub 18 niekie- rowanymi pociskami	Mutti-EFP (wiązka radialna z 35 MEFP), 2 kierowane wyrzut- nie, każda po 3 ła- dunki/lufy	Multi-EFP (Wiązka z 35 MEFP), 1 lub 2 kierowane wyrzutnie, każda po 3 ładunki/lufy	Granaty z głowicą podmuchową, 2 kierowane wyrzutnie, po 2 lufy każda	Granaty podmucho- we Mongoose-1, 2 wyrzutnie po 6 granatów, na dachu pojazdu
Odległość zniszczenia od celu, OZ	1,5 m	10-30m	10-20m	~30m	~10-30m	~10-30m	~5-20m?	>5-15m
Czas reakcji systemu (TRS)	560 μs, Mikrosekundowy.	> 355 ms, milisekun- dowy .	>300ms, milisekun- dowy.	~350-400 ms, milise- kundowy.	~300-350 ms.	~300-350 ms.	~300-350 ms.	~200 ms ?.
Zdolność do obrony przed RGP i IED-EFP na małym dystansie	tak, bez ograni- czeń	ograniczona	ograniczona	ograniczona	ograniczona?	ograniczona?	ograniczona?	ograniczona?
Ryzyko szkód ubocznych,	Bardzo małe ryzyko (środek odwetowy bezodłamkowy, o małym rozrzucie w przestrzeni)	małe ryzyko (granat podmu- chowy)	małe ryzyko (granat podmu- chowy)	małe ryzyko (granat podmu- chowy)	duże ryzyko, (odłam- ki o dużej prędko- ści/energii)	duże ryzyko, (odłamki o dużej prędkości/energii)	małe ryzyko (granat podmu- chowy)	małe ryzyko (granat podmu- chowy)
Wykrywalność systemu przez przeciwnika	mała	duża, (aktywny system radarowy)	duża, (aktywny system radarowy)	duża, (aktywny system radarowy)	duża, (aktywny system radarowy)	duża, (aktywny system radarowy)	duża, (aktywny system radarowy)	duża, (aktywny system radarowy)
Ciężar systemu	pojazdy lekkie: 140 kg; pojazdy ciężkie: 500 kg	~500 kg	~350 kg	~140 kg	~780 kg?	~490 kg?	~400 kg?	
Stan rozwoju	faza prototypu	faza analizy	finansowanie budo- wy?	faza rozwoju do 2011 r.	gotowa w 2007 r.	prototyp	prototyp	rozwój kolejnych wersji
Planowana gotowość do produkcji seryjnej	2009	~2011	~2011	po 2011	Produkcja seryjna rozpoczęta w 2007 .			planowana w 2010 ?

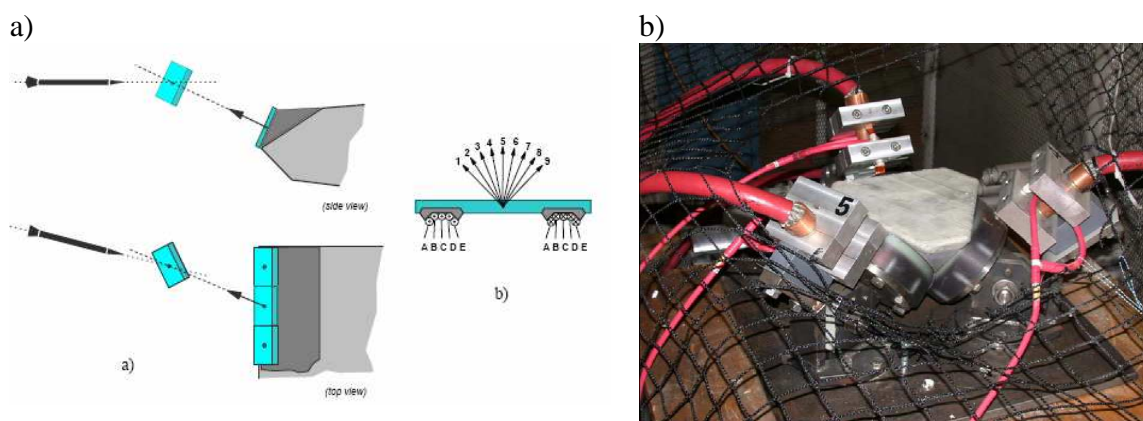
Źródło: Opracowano na podstawie D. Haug, H. J. Wagner, *Abstandsaktive Hard-kill-Schutzsysteme*, [in:] "Strategie & Technik", 10/2008



Rys. 13. Zespoły systemów aktywnej ochrony: a) system wykrywania i śledzenia (materiały Thales), b) granat Mongoose szwedzkiego systemu aktywnej ochrony LEDS-150, c) wyrzutnia granatów Mongoose

Źródło: Materiały firmy Bofors

Zastosowanie materiałów wybuchowych w przeciw pociskach powoduje dodatkowe zagrożenie i możliwość zwiększenia szkód związanych z działaniem układu aktywnej ochrony pojazdów. Zmniejszenie takich szkód jest możliwe przez wyrzucenie w kierunku pocisku ładunków o odpowiednio dużej masie, powodującej wybuch głowicy lub zakłócenie toru lotu pocisku. Impulsem wyrzucającym ładunek może być ładunek wybuchowy, co ogranicza możliwość doboru kierunku wyrzucanego przeciw pocisku lub silny impuls elektromagnetyczny. Przy zastosowaniu kilku elementów magnetycznych możliwe jest odpowiednie ukierunkowanie kierunku lotu takiego przeciw pocisku masowego (rys. 14). Metoda ta jest jeszcze w stadium intensywnych badań.



Rys. 14. Przeciwdziałanie za pomocą przeciw pocisków masowych: a) zasada działania systemu, b) eksperymentalna wyrzutnia przeciw pocisków 3D

Źródło: Opracowanie własne

Rozmieszczenie zespołów zewnętrznych niektórych systemów aktywnej ochrony pojazdów pokazano na rysunku 15. Obecnie szacuje się, że opracowano już ponad 20 takich systemów aktywnej ochrony pojazdów, aczkolwiek są to dane sprzed około 5 lat.



Rys. 15. Wybrane systemy aktywnej ochrony pojazdów: a) AMAP-ADS (GER), b) AWISS (GER), c) ASPRO TROPHY (ISR), d) Iron Fist (ISR), e) LED 150 (SWE), f) ARENA (RUS)

Źródło: Opracowanie własne

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono w tylko niektóre problemy związane z aktywną i pasywną ochroną wozów bojowych opracowane na podstawie dostępnych materiałów i danych

producentów takich systemów. Są to systemy, nad którymi prowadzone są intensywne prace w ramach przyszłościowych systemów walki z uwzględnieniem przewidywanych przyszłych konfliktów zbrojnych. Istnieje już kilkadziesiąt znanych i opisanych systemów, a jednocześnie prowadzone są prace nad systemami nowymi, o jeszcze większej skuteczności.

Osłona przyszłych wozów bojowych powinna być osłoną zawierającą różne elementy osłon pasywnych, reaktywnych i aktywnych. Podstawowym materiałem konstrukcyjnym przyszłych wozów bojowych będzie stal pancerna, z której będzie wykonywany kadłub i elementy nośne pojazdów. Wynika to przede wszystkim z ich właściwości oraz ceny. Osłony kadłuba będą uzupełniane wykładzinami wewnętrznymi i zewnętrznymi, zwiększającymi odporność kadłubów na uderzenia pocisków broni strzeleckiej, fal uderzeniowych oraz odłamków, w tym odłamków niszczonej broni z systemów aktywnej ochrony pojazdów, a także zmniejszającymi działanie odłamków wewnątrz pojazdów.

Bardzo ważnym elementem wzmacniającym osłonę pojazdów będą systemy osłony aktywnej, wykorzystywane do niszczenia lub osłabiania zagrożeń w pewnej odległości od pojazdu. Aby systemy te były efektywne, ich czas reakcji powinien być liczony w mikrosekundach przy przewidywanym niszczeniu pocisków w odległości 5...10 metrów od pojazdu. Są to parametry optymalne, umożliwiające reakcje na większość współczesnych zagrożeń. Jednocześnie są to wartości bardzo trudne do spełnienia, dlatego prowadzone są intensywne prace nad doskonaleniem układów aktywnej osłony pojazdów.

LITERATURA

- [1] Haug D., Wagner H. J., *Abstandsaktive Hard-kill-Schutzsysteme*, [in:] „Strategie & Technik“, 10/2008, pp. 24-31.
- [2] Gooch W. A., *An Overview of Protection Technology for Ground and Space Applications, Combat Survivability of Air, Sea and Land Vehicles*, [in:] NATO RTO MP-090, AC/323(AVT-087)TP/61, (pp. 42.1-42.15).
- [3] McClelland R. E., *Survivability of the Future U.S. Army Mounted Force, Combat Survivability of Air, Sea and Land Vehicles*, [in:] NATO RTO MP-090, AC/323(AVT-087)TP/61 (pp. 2.1-2.9).
- [4] Scher S., Templeton D, Barshaw E., *Ballistic Protection technology for Future combat System*, [in:] NATO RTO MP-090, AC/323(AVT-087)TP/61, (pp. 41.1-41.14).
- [5] Van der Merwe C., *Vehicle Protective Technology*, [in] 4th Annual Armor Protection Conference, 23-26.06.2009, Mc Lean, VA.

**PROBLEMS RELATED TO PASSIVE
AND ACTIVE PROTECTION OF FIGHTING VEHICLES**

Summary

This paper introduces the basic problems relating to the passive and active protection of present fighting vehicles. The author briefly describes the scenarios of the operations of armed forces and threats resulting from the use of armour-piercing guns, such as armour-piercing grenade hand launchers, armour-piercing missiles, sub-calibre projectiles, kinetic bullets, land mines and improvised explosive devices. The article presents passive and reactive protections of fighting vehicles used now, protecting crews when the vehicle is being hit by a projectile. The stages of detecting the threat and reacting to it are analysed, including the time required so that the protection system can respond appropriately. The author describes the means of counteracting the threats posed to vehicles, used in the systems of active protection. Proprieties of some of the systems of the active protection of fighting vehicles and their basic tactical and technical parameters are described.

Key words: *fighting vehicles, passive protection, active protection, active protection systems*

Artykuł recenzował: prof. dr hab. inż. Eugeniusz RUSIŃSKI