

FUTURE WEAPON SYSTEMS FOR ALL ELECTRIC COMBAT VEHICLE

Jerzy Walentynowicz

*Military University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering
Gen.S. Kaliskiego 2, 00-908 Warsaw, Poland
tel./fax: (+48 022) 6839565
e-mail: jwalentynowicz@ wat.edu.pl*

Abstract

Basic problems connected with using of electromagnetic cannons in the future fighting vehicles were introduced in the report. Such cannons make possible getting a lot of larger escape speed of bullets in the comparison with classic powder cannons using smaller quantity of the energetic material (fuel, powder). That is why applied can be bullets about the smaller mass. It is possible to load larger number of such bullets on the vehicle board also. The thermal signature of the vehicle is smaller during the shot also. However application electromagnetic guns requires still solution many technological problems connected with production of the impulses of electric energy about large power, achievement high level of durability, exactitude and the reliability of barrels, the flow of energy vehicle and the influence of the magnetic field on the staff and equipment inside and outside the vehicle. Electromagnetic guns are anticipated as main future armament of combatant vehicles. They will be all-important element of future, entirely electrified vehicle, known as "All Electric Combat Vehicle". Challenges soluble are enhancement of the power of produced energy, transmission of energy, durability and the stability of parameters of barrels and improvements of missile design. Essential advantages of these guns will cause that they will be able to become the basic armament of future combat vehicles.

Keywords: *transport, combat vehicles, hybrid propulsion systems, tracked vehicles, wheeled vehicles*

PRZYSZŁE UZBROJENIE ZELEKTRYFIKOWANEGO WOZU BOJOWEGO

Streszczenie

W referacie przedstawiono podstawowe problemy związane z zastosowaniem dział elektromagnetycznych w wozach bojowych przyszłości. Działa takie umożliwiają uzyskiwanie dużo większej prędkości wylotowej pocisków w porównaniu z klasycznymi działami prochowymi przy mniejszej ilości materiału energetycznego (paliwa, prochu). Dlatego stosowane mogą być pociski o mniejszej masie. Można załadować także większą liczbę pocisków na pokład pojazdu. Mniejszy jest także ślad cieplny pojazdu podczas strzału. Jednak zastosowanie dział magnetycznych wymaga rozwiązania jeszcze wielu problemów technologicznych związanych z wytwarzaniem impulsów energii elektrycznej o dużej mocy, trwałości, dokładności oraz niezawodności luf, przepływu energii wewnątrz pojazdu oraz oddziaływania pola magnetycznego na ludzi i sprzęt wewnątrz i na zewnątrz pojazdu. Działa elektromagnetyczne są przewidywane jako główne uzbrojenie przyszłościowe wozów bojowych. Działa elektromagnetyczne będą stanowiły bardzo ważny element przyszłego, w pełni zelektryfikowanego pojazdu bojowego, znanego jako "All Electric Combat Vehicle". Problemy do rozwiązania, to zwiększenia mocy wytwarzanej energii, przesyłania energii, trwałości i stabilności parametrów luf oraz doskonalenia konstrukcji pocisków. Należy sądzić, że istotne zalety tych dział spowodują, że będą one mogły stać się podstawowym uzbrojeniem wozów bojowych przyszłości.

Słowa kluczowe: *wozy bojowe, hybrydowe układy napędowe*

1. Wstęp

Nowe rodzaje systemów rażenia pojazdów przeciwnika z wykorzystaniem energii elektrycznej są rozwijane równolegle z napędami hybrydowymi pojazdów wojskowych w ramach kierunku znanego jako „AECV-All Electric Combat Vehicle” (w pełni elektryczny pojazd bojowy). Ich

celem jest wykorzystania energii elektrycznej do bardziej efektywnego uzbrojenia oraz wzmocnienia ochrony wozu przed działaniem przeciwnika [1, 2].

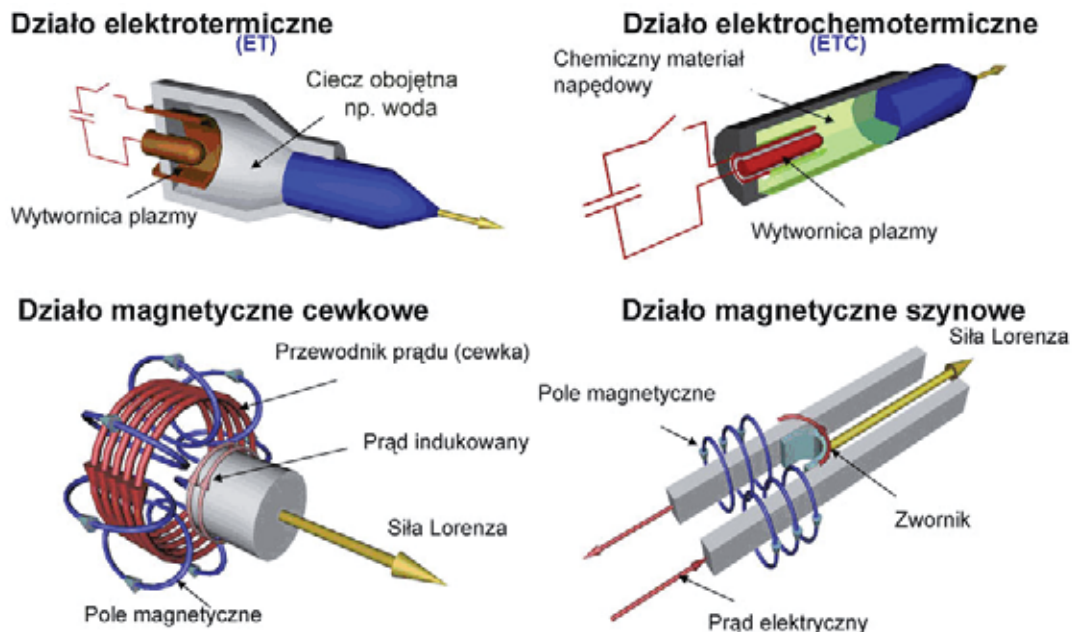
Celem prezentowanej pracy jest przeanalizowanie aktualnego stanu techniki w zakresie nowych dział o dużej prędkości wylotowej, jaką umożliwiają działa elektromagnetyczne, w aspekcie zastosowania ich w pełni zelektryfikowanych wozach bojowych. Napęd hybrydowy tych wozów pozwala na wykorzystanie podstawowego, pokładowego źródła prądu elektrycznego do zasilania środków rażenia za pomocą akumulatorów energii o dużej mocy, a także do wspomaganie działania środków ochrony pojazdów.

2. Działa elektromagnetyczne

Działa wykorzystujące energię elektryczną do zwiększenia prędkości wylotowej można podzielić na dwie grupy: działa wykorzystujące wzrost ciśnienia w lufie z wytwornicą plazmy inicjującą przemiany termochemiczne prowadzące do wzrostu ciśnienia w lufie (elektrotermiczne i elektrochemotermiczne) oraz działa elektromagnetyczne, wykorzystujące pole magnetyczne do przyspieszenia prędkości pocisku. Zasada działania takiego uzbrojenia została przedstawiona schematycznie na rys. 1.

Działa elektromagnetyczne, nazywane także wyrzutniami, można podzielić na dwie kategorie: wyrzutnie cewkowe i szynowe. W dziale cewkowym wyrzutnia składa się z kilku, kilkunastu lub większej liczby cewek nawiniętych na rurę prowadzącą ferromagnetyczny pocisk. Cewki wytwarzają kolejno pola elektromagnetyczne i w chwili gdy pocisk znajdzie się w środku cewki poprzedzającej wtedy zostaje wyłączony prąd płynący przez tę cewkę i przez kolejno włączaną cewkę pocisk jest wciągany do jej wnętrza. W ten sposób pocisk zwiększa swoją prędkość wewnątrz prowadnicy. Zasada ta została opatentowana przez Kristiana Birkelanda w roku 1900.

W dziale szynowym, na pocisk ukształtowany jako zwora łącząca dwie szyny, przez które płynie prąd o natężeniu I , działa siła pola magnetycznego Lorentza F , która powoduje ruch przyspieszony pocisku. Pierwsze tego typu działo zostało zbudowane w przez naukowców z Canady (J.P. Barber) i Nowej Zelandii (R.M. Marshall) w Australijskim Uniwersytecie Narodowym.

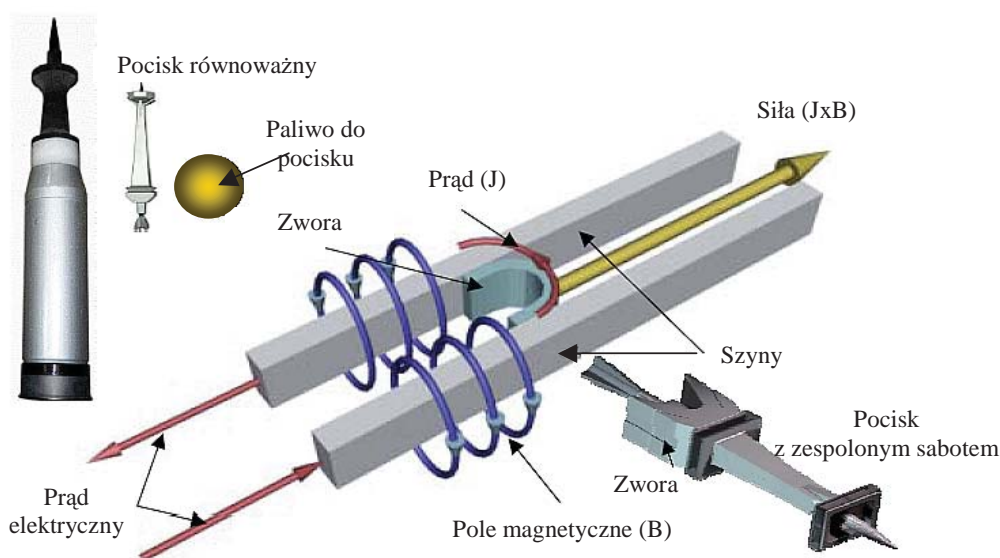


Rys. 1. Zasada działania dział zasilanych energią elektryczną [4]
Fig. 1. ration principle of canons supplied by electric energy [4]

Prace nad wyrzutniami elektromagnetycznymi przeznaczonymi do zastosowania w pojazdach bojowych koncentrują się głównie na wyrzutniach szynowych. Do tych dział projektowana jest

amunicja podkalibrowa (o działaniu kinetycznym), a jednocześnie prowadzone są prace nad pociskami zawierającymi ładunek wybuchowy (burzące). Przy analizie właściwości tych wyrzutni wskazuje się na istotne ich zalety, w tym mniejszą masę, co jest ważne przy dążeniu do zmniejszenia masy całkowitej pojazdu. Ponadto mniejszy jest ślad cieplny oraz mniejsze zaburzenie otoczenia wylotu z wyrzutni elektromagnetycznej w porównaniu z działem prochowym.

Uzyskanie dużej prędkości wylotu daje możliwość zmniejszenia pocisków przy utrzymaniu tej samej energii wylotowej, a mniejsza objętość paliwa niezbędnego do uzyskania porównywalnej energii wylotu pocisku umożliwi zwiększenie jednostki ognia (rys. 2). Mniejsza objętość paliwa wynika ze stosowania paliwa ciekłego, do którego utleniacz (tlen) czerpany jest z powietrza, podczas gdy w klasycznych armatach prochowych utleniacz i paliwo muszą być zgromadzone w łusce pocisku (ładunku miotającym).



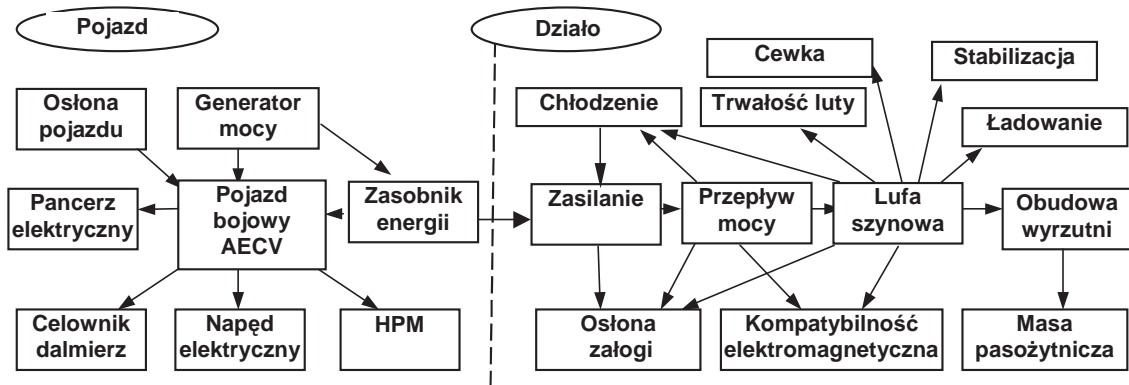
Rys. 2. Szynowe działo elektromagnetyczne oraz porównanie wymiarów pocisku do dział prochowego i elektromagnetycznego o tej samej energii wylotowej (wg US ARL)

Fig.2. Electromagnetic rail gun and comparison of dimension of projector for powder and electromagnetic guns for identical outlet energy

Zmniejszenie masy broni przy tej samej sile rażenia umożliwia zmniejszenie pojazdu przewożącego tę broń. Jednak biorąc pod uwagę konieczność zapewnienia dużej mocy elektrycznej wymaganej do zasilenia broni, a także dużej pojemności urządzenia do gromadzenia tej energii, broń elektromagnetyczna nie będzie mogła być montowana na istniejącym, standardowym pojeździe, lecz będzie stanowiła zespół dla którego będzie specjalnie zaprojektowane nadwozie pojazdu. Działo takie będzie musiało być ściśle powiązane z całością systemów pojazdu bojowego i szeregiem jego zespołów, które zostały przedstawione na rysunku 3 z podziałem na dwie części: „pojazd” i „działo”.

W części „Pojazd” znajdują się urządzenia, które nie stanowią uzbrojenia, lecz są z tym uzbrojeniem zintegrowane i wpływają w ten sposób na rozwiązania dział elektromagnetycznego. Do części „Działo” zaliczono urządzenia związane z impulsowym zasilaniem, przepływem mocy, a także z wyrzutnią oraz jej obudową. Sztywna obudowa wyrzutni tworzy dodatkową, masę systemu, która musi być stabilizowana podczas jazdy.

Dla całościowej charakterystyki właściwości i działania systemu trzeba byłoby dodać charakterystyki taktyczno-techniczne, a także charakterystyki taktyczno-techniczne całego pojazdu z uzbrojeniem elektromagnetycznym.



Rys. 3. Systemy szynowego działka elektromagnetycznego [6]

Fig. 3. Systems of electromagnetic rail gun [6]

3. Technologiczne problemy rozwoju dział elektromagnetycznych

Jednym z najważniejszych problemów rozwoju dział elektromagnetycznych jest zasilanie w energię elektryczną impulsem o bardzo dużej mocy. Konieczne jest uzyskanie prądu elektrycznego rzędu kilku megaamperów w czasie milisekund. Takie wymagania nie mogą spełniać stosowane obecnie systemy magazynowania energii, nawet w akumulatorach elektrolitycznych o największej mocy. Również duży postęp w dziedzinie superkondensatorów ciekowych nie zapewnia uzyskania odpowiednio dużego impulsu energii elektrycznej. Najbardziej obiecującym systemem są obecnie układy bezwładnikowe, gromadzące energię w postaci energii kinetycznej wirnika, podobnie jak w kole zamachowym [9]. Połączone z alternatorem impulsowym lub kompulsatorem mogą zapewnić uzyskanie dużego impulsu elektrycznego. Początkowo były one wykonywane z wirnikiem stalowym, a ostatnio są stosowane lżejsze wirniki kompozytowe o dużej prędkości obrotowej. Umieszczone w hermetycznych, obudowach, z których usunięto powietrze celem zmniejszenia strat wentylacyjnych oraz specjalnie ułożyskowane umożliwią uzyskanie w najbliższym czasie gęstość energii na poziomie 10J/g, co przy masie kompulsatora 2 tony umożliwiłoby oddanie szybkiej serii trzech..czterech strzałów. Ocenia się, że na jeden strzał potrzeba średnio około 5MJ energii.

W celu wyrównoważenia sił działających na kompulsator podczas jego impulsowego obciążenia odbiornikiem energii, urządzenie to jest budowane jako zespół dwóch połączonych impulsatorów w jednej obudowie, charakteryzujących się przeciwnym obrotem wirników. Przykład takiego zespołu pokazano na (rys. 4).

a)



b)

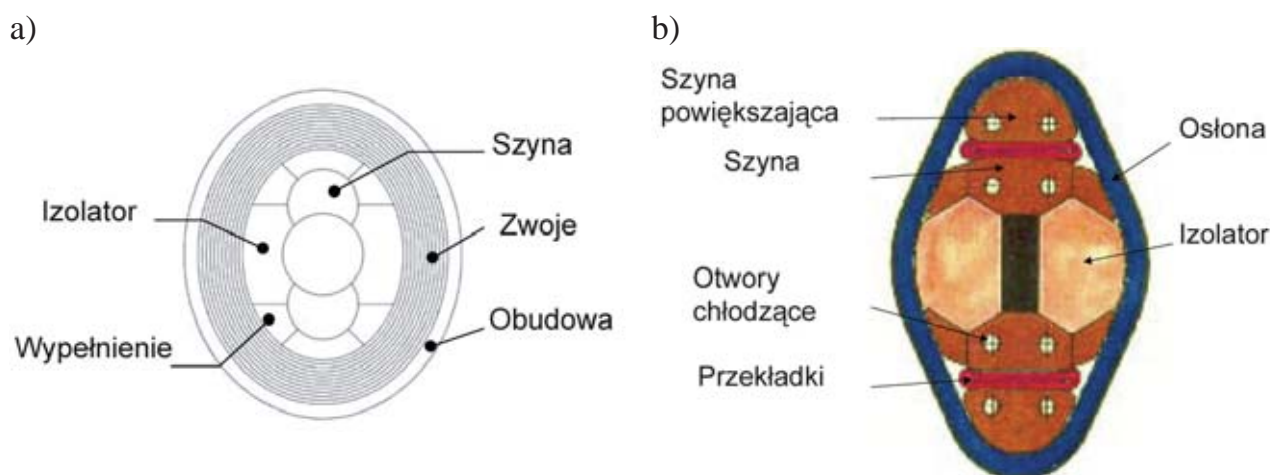


Rys. 4. Zestaw kompulsatorów (a) i ich położenie w pojeździe (b) [6, 8]

Fig. 4. Compulsator set (a) and its location in vehicle (b) [6, 8]

Kompulsatory wymagają nadal intensywnego rozwoju. Konieczne jest udoskonalenie wysokoobrotowych łożysk o małych oporach własnych, a jednocześnie odpornych na chwilowe przeciążenia. Wymagane jest zastosowanie zaawansowanej elektroniki, efektywnych połączeń komutatorowych oraz zarządzania przepływem energii. Trzeba będzie rozwiązać wiele problemów występujących podczas rozpędzania i opóźniania wirnika oraz integracji kompulsatora z pojazdem i jego urządzeniami.

Bardzo istotnym zespołem działa elektromagnetycznego jest jego lufa (prowadnica wyrzutnika). Obecnie jest ona bardzo ciężka i możliwe jest jej stosowanie tylko do badań laboratoryjnych. Aby lufa była konkurencyjna w stosunku do prochowych dział konwencjonalnych nie może być zbyt ciężka, a jednocześnie musi być odpowiednio trwała. Musi mieć dużą sztywność własną oraz odpowiednio sztywne połączenie z pojazdem, tak aby utrzymany był właściwy punkt celowania. Wewnątrz lufy muszą być właściwie i trwale rozmieszczone szyny, izolatory i przewodniki (rys. 5). Nie mogą być stosowane zwykłe rury stalowe ze względu na indukcyjność elektryczną. Dlatego do budowy takiej wyrzutni przewiduje się zastosowanie odpowiednich materiałów kompozytowych.



Rys. 5. Lufy dział elektromagnetycznych [4, 6]:
 a – do pocisków o przekroju kołowym, b – do pocisków o przekroju prostokątnym
 Fig. 5. Barrels for electromagnetic guns [4, 6]:
 a – for circular geometry bores, b – for rectangular geometry bores

Kolejnym problemem jest trwałość luf dział elektromagnetycznych. Między zespołem wyrzucanym (pocisk, sabot i zwora), a szynami są obecnie stosowane połączenia mechaniczne w postaci ślizgaczy, przez które płynie duży prąd elektryczny. Obniża to znacznie ich trwałość. Podobnie jak w klasycznych działach lufowych, również w przypadku dział elektromagnetycznych rozwiązania tego problemu poszukuje się przez opracowanie nowych materiałów na pokrycia powierzchni styku między szynami a zwrą pocisku.



Rys. 6. Lufa działu kalibru 155mm z chłodzeniem międzywarstwowym [6]
 Fig. 6. 155mm calibre „mid-wall cooled” barrel for cannon [6]

Przy wielokrotnym szybkim strzelaniu konieczne będzie rozwiązanie problemu chłodzenia wyrzutni. Przekształcanie różnych postaci energii jest związane z wydzielaniem ciepła, które musi być odprowadzone do

otoczenia aby nie wzrosła nadmiernie temperatura urządzenia. Do chłodzenia luf dział elektromagnetycznych może być wykorzystany układ chłodzenia pojazdu i różnych jego urządzeń. Jednak musi on być zintegrowany z systemami wyrzutni. Układ ten jest na ogół wyposażony w system rozpraszania ciepła celem zmniejszenia śladu termicznego pojazdu. Przykładem takiego chłodzenia lufy może być chłodzenie międzyscianowe brytyjskiego działa 155mm z kanalikami rozmieszczonymi wzdłuż lufy (rys. 6).

Pocisk z działa elektromagnetycznego składa się z trzech zasadniczych elementów: rdzenia pocisku, sabotu oraz zwory. Na ogół pociski te były projektowane podobnie jak klasyczne pociski podkalibrowe przy dążeniu do maksymalnego zmniejszenia masy „pasożytniczej” pocisku czyli masy odrzućanej po wylocie pocisku z lufy. Ponieważ zwora pocisku musi zapewnić przepływ prądu o dużym natężeniu i przy klasycznych materiałach dlatego jej masa jest znaczna, co zmniejszało efektywność strzelania pociskami podkalibrowymi.

W początkowych rozwiązaniach dział elektromagnetycznych stosowane były zwory okrągłe.



Rys. 7. Pociski do działa szynowego[4]: pocisk z materiałem wybuchowym (a), pocisk kinetyczny (b)

Fig. 7. Projectiles for rail gun [4]: high explosive projectile (a), kinetic energy projectile (b)

Upraszczało to konstrukcje i wykonanie zwory oraz sabotu pocisku aczkolwiek nieco komplikowało kształt szyn, które musiały zachować odpowiedni kształt, niezależnie od liczby oddanych strzałów i szybkości strzelania. Okrągły kształt zwory nie zapewniał odpowiedniej efektywności działania urządzenia i najnowszych rozwiązaniach dział stosowane są zworniki prostokątne, współpracujące z dwoma płaskimi szynami (rys. 7). Ułatwia to przepływ prądu poprzecznie między szynami, a efektem tego jest większa prędkość wylotowa pocisku.

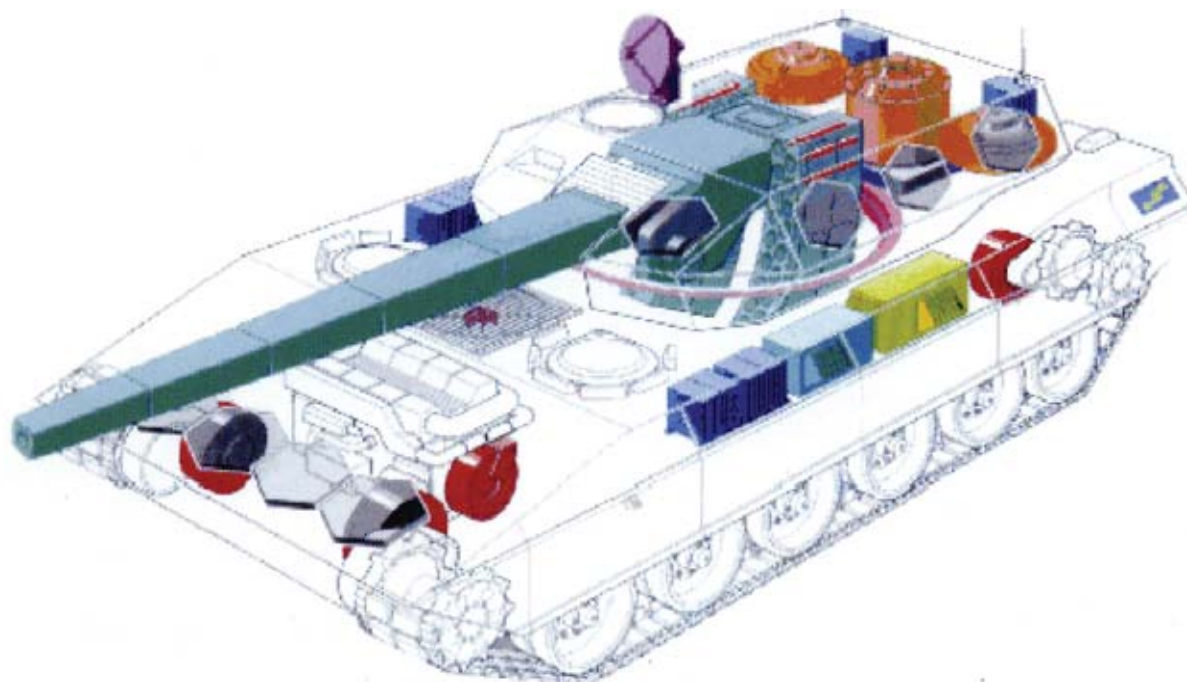
W efekcie pociski dział elektromagnetycznych mogą być mniejsze i lżejsze od pocisków dział klasycznych przy porównywalnej energii kinetycznej wylotu z energią kinetyczną pocisków dział prochowych. Mniejsze pociski ułatwiają ponadto automatyczne ładowanie ich do lufy,

a także, co jest również bardzo ważne, umożliwiają zwiększenie liczby pocisków na pokładzie pojazdu.

Połączenie elektryczne działa z wytwornicą impulsu energii stanowi kolejny ważny problem dział elektromagnetycznych. Kompulsatory, ze względu na swoją masę i wymiary, nie powinny być umieszczane w obrotowej wieży lecz w sztywnym kadłubie pojazdu. Stąd powstaje problem przepływu dużego, impulsowego strumienia energii między wieżą i kadłubem pojazdu. Przy budowie połączeń tych zespołów próbuje się stosować różne rozwiązania pierścieni ślizgowych, wielożyłowych kabli elektrycznych oraz systemów szyn zbiorczych. Konieczne jest przy tym stosowanie odpowiedniego i efektywnego systemu chłodzenia takich urządzeń.

Dużą uwagę trzeba również zwrócić na oddziaływanie pola elektromagnetycznego na załogę oraz inne wyposażenie pojazdu [3]. Częstotliwość emitowanego pola jest dużo większa od normalnej emisji wielu urządzeń pracujących w otoczeniu, aczkolwiek jest ona mniejsza od emisji z innych systemów uzbrojenia, wykorzystujących systemy mikrofalowe i lasery. Zastosowanie odpowiednich osłon może znacznie zmniejszyć oddziaływanie pola magnetycznego na załogę i układy pojazdu. Jednak znacznym problemem będzie oddziaływanie fal elektromagnetycznych na nie przygotowane do tego otoczenie (kompatybilność magnetyczna). Zmniejszenie tego wpływu

będzie wymagało między innymi odpowiedniego ukształtowania wylotu z działa, zmniejszającego jego sygnaturę elektromagnetyczną.



Rys. 8. Wóz bojowy przyszłości
Fig.8. Future fighting vehicle

4. Podsumowanie

Nic nie wskazuje na możliwości dalszego istotnego rozwoju klasycznych dział prochowych, zapewniających znaczące zwiększenie energii wylotowej pocisku. W przyszłości zastąpią je działa elektryczne, w tym elektrochemiczne i elektromagnetyczne.

Nad działami elektrycznymi, a szczególnie nad elektrochemicznymi pracuje się intensywnie na świecie i pokazywanych jest wiele rozwiązań takiego uzbrojenia, w tym również rozwiązań polskich. Jednak w działach elektrycznych i elektrochemicznych pocisk jest wystrzelony za pomocą ciśnienia w lufie, co powoduje istotne ograniczenie prędkości początkowej pocisku, a także znacznego i widocznego śladu akustycznego i wizualnego po wystrzeleniu pocisku.

Działa elektromagnetyczne, przede wszystkim w wersji dział szynowych są przewidywane jako główne uzbrojenie przyszłościowych wozów bojowych i prowadzone są intensywne prace nad dopasowaniem ich konstrukcji i parametrów taktyczno-technicznych do potrzeb przyszłego pola walki. Prezentowane są badawcze wersje dział o różnym kalibrze – od 15 mm z pociskiem o średnicy 5mm do dział dużych o kalibrze zbliżonych do 100mm, o ile właściwe jest w tym przypadku używanie klasycznej definicji kalibru [7, 4].

Działa elektromagnetyczne będą stanowiły bardzo ważny element przyszłego, w pełni zelektryfikowanego pojazdu bojowego, znanego jako „All Electric Combat Vehicle” (rys. 8). Ich rozpowszechnienie wymaga jednak pomyślnego rozwiązania jeszcze wiele problemów. Dotyczy to przede wszystkim: zwiększenia mocy wytwarzanej energii, przesyłania energii, trwałości i stabilności parametrów luf (wyrzutni) oraz doskonalenia konstrukcji pocisków.

Doskonalenie dział elektromagnetycznych napotyka nadal na szereg wielu barier fizycznych, które są po kolei pokonywane. O rezultatach tych wysiłków pokażą rezultaty prac badawczych w najbliższym dziesięcioleciu. Należy sądzić, że istotne zalety tych dział i uzyskane dotychczas rezultaty spowodują takie ich udoskonalenie, że będą one mogły stać się podstawowym uzbrojeniem wozów bojowych przyszłości.

Literatura

- [1] *Land Operation in the Year 2020*, RTO TR 8 (AC/323(SAS)TP/5, 03.1999.
- [2] *Life Cycle Cost of All Electric Combat Vehicle*, RTO TR13 (AC/323(SAS)TP/10,03.1999.
- [3] Baroux, M., H., *Electromagnetic Environment for AECV (All Electric Combat Vehicle)* 5th Int. Conf. On All-Electric Combat Vehicles, Angers, 2003.
- [4] Cilli, M., Ladd, D., Schmidt, E., *Integrated US Army Research in Electromagnetic Guns*,. 6th Int. Conf. On All-Electric Combat Vehicles, Bath, 2005.
- [5] Freeman, M., *US Army Science & Technology Power and Energy Update*, 6th Int. Conf. On All-Electric Combat Vehicles, Bath, 2005.
- [6] Haugh, D., C., Hainsworth, M., G., Firth, M., A., *EM Guns for Future AECVS – a Current View*, 4th Int. Conf. On All-Electric Combat Vehicles, Noordwijkerhout, 2001.
- [7] Lehmann, P., Wenning, W., *Integrability of an Electrical Power Supply for a Small-Calibre Railgun*, 5th Int. Conf. On All-Electric Combat Vehicles, Angers, 2003.
- [8] McNab, I., R., *Energy and Power Requirements for Electromagnetic Launcher Combat Mission*, 5th Int. Conf. On All-Electric Combat Vehicles, Angers, 2003.
- [9] Reiner, G., Ehrhart, P., *MDS Flywheel Storage System in a 25 t 8x8 Wheeled Electric Vehicle*, 4th Int. Conf. On All-Electric Combat Vehicles, Noordwijkerhout, 2001.