

Krzysztof JAMROZIAK*
Mariusz KOSOBUDZKI**
Jerzy PTAK***

ETAPY KONSTRUOWANIA WYBRANYCH ZESPOŁÓW PROTOTYPU POJAZDU KLASY M-ATV

W artykule omówiono etapy rozwoju założeń projektowo-konstrukcyjnych wybranych zespołów pojazdu M-ATV G-10. Na przykładzie założeń podano metodykę wyboru modelu 3D, a następnie zbudowano demonstrator technologii. Przeprowadzono analizę i wybór tworzywa do zabudowy nadwozia demonstratora technologii. Na przykładzie wybranych badań balistycznych sformułowano wnioski.

Słowa kluczowe: *pojazd M-ATV, konstrukcja, demonstrator technologii, badania materiałów, uderzenie balistyczne*

WSTĘP

Ostatnie dziesięciolecie to dla Sił Zbrojnych RP duży wysiłek angażowania się w różnego rodzaju operacje misji pokojowych i stabilizacyjnych. Głównie koncentrował się on na potrzebie modernizacji i dostosowania sprzętu wojskowego do warunków panujących w strefach działań wojskowych. Jednym z takich obszarów modernizacji były pojazdy przeznaczone do działań patrolowych i interwencyjnych w zagrożonym rejonie. Dotychczasowa taktyka wykorzystania techniki wojskowej nie przynosiła zamierzonych efektów. Należało się przeciwstawić warunkom generowanym od zagrożeń, jakie niosły i niosą za sobą obszary zdominowane przez wpływy oddziaływań terrorystycznych [1, 2]. Znajdujące się na wyposażeniu wojsk lądowych pojazdy osobowo-terenowe wysokiej mobilności typu Honker Skorpion 3 oraz HMMWV (High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle) nie spełniały wymagań użytkowników wojskowych. Okazały się mało odporne na oddziaływanie nie-

* ppłk dr inż. Krzysztof JAMROZIAK – Wydział Planowania i Koordynacji Badań Naukowych Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych

** kpt. mgr inż. Mariusz KOSOBUDZKI – Instytut Dowodzenia Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych

*** mgr inż. Jerzy PTAK – Dom Samochodowy GERMAZ Sp. z o.o., Wrocław

przewidzianych ataków terrorystycznych. Podstawowym zagrożeniem, które wpływało na pojazdy i przynosiło straty w ludziach były miny pułapki o niesklasyfikowanej sile rażenia, definiowane jako IED (Improvised Explosive Device).

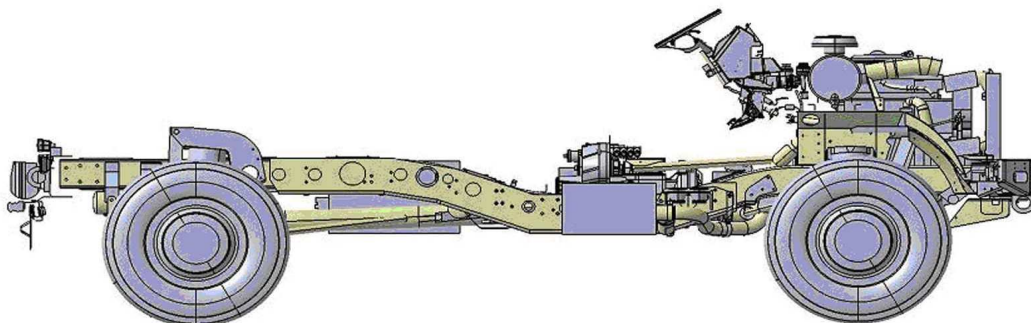
Program zapoczątkowany w 2006 r. przez armię USA, którego w ramach powstał projekt MRAP (Mine Resistant Ambush Protected) miał za zadanie sprostać wszystkim zagrożeniom asymetrycznym, wynikającym z działań terrorystycznych [3]. Pojazdy klasy MRAP są stosunkowo nową konstrukcją, definiowaną jako kategoria pojazdów osobowo-terenowych wysokiej mobilności, charakteryzującą się zwiększoną odpornością na działanie min i improwizowanych urządzeń wybuchowych oraz zwiększoną odpornością balistyczną. Konstrukcja tego typu pojazdu już sama w sobie jest charakterystyczna ze względu na kształt nadwozia, zgodnie z zasadą Diamond Shape i kształt spodu nadwozia zbliżony formą do litery „V”.

W warunkach polskich istniała także potrzeba podjęcia programu MRAP [5], w której wyniku opracowano polską konstrukcję pojazdu kategorii MRAP. W dalszej części artykułu przedstawiono etapy powstawania bryły nadwozia i rodzaju pancerza bazowego, stanowiącego kadłub nowo powstałej konstrukcji.

1. KONCEPCJA M-ATV G 10

Przystępując do prac koncepcyjnych, przeprowadzono analizę już istniejących konstrukcji MRAP. Po zapoznaniu się ze wstępnymi założeniami i wymaganiami na samochód o podwyższonej odporności na improwizowane urządzenia wybuchowe, miny i pociski karabinowe podjęto decyzję, że będzie to nowy typ pojazdu wywodzący się z rodziny MRAP, ale charakteryzujący się lepszą mobilnością i modułową budową w konfiguracji wielozadaniowej. Takim pojazdem posiadającym w sobie elementy pojazdu MRAP i elementy pojazdów osobowo-terenowych wysokiej mobilności jest zmodyfikowana rodzina określana jako M-ATV (MRAP All Terrain Vehicle) powstała na potrzeby misji stabilizacyjnej w Afganistanie [4]. Pojazdy M-ATV bazują na sprawdzonych rozwiązaniach podwozi w wersji wojskowej. W odróżnieniu od większych i starszych pojazdów klasy MRAP zapewnią zdecydowanie większą manewrowość i poprawę innych parametrów taktyczno-technicznych.

Po przyjęciu roboczej nazwy M-ATV G 10 nowopowstającej konstrukcji zaproponowano podwozie do specjalnych zastosowań UNIMOG serii U5000 model 437.465 (rys. 1) [5].



Rys. 1. Podwozie UNIMOG 437.465 z silnikiem OM924 LA Euro3 163 kW

Źródło: [7]

Na zaproponowanym podwoziu (rys. 1) przyjęto koncepcyjnie wykonać nadwozie z blachy pancernej, które spełniać będzie następujące założenia:

- pojazd musi wpisywać się w zarys skrajni samolotu transportowego C-130 Hercules oraz w zarys skrajni kolejowej międzynarodowej wg PN-70/K-02056;
- w przedziale kierowcy należy zapewnić miejsce dla kierowcy i dowódcy, a w przedziale załogi dla 8 osób, w tym strzelca broni pokładowej;
- spód nadwozia pojazdu powinien być wyprofilowany w kształcie zbliżonym do litery „V”, aby sprzyjał rozpraszaniu fali uderzeniowej w razie eksplozji ładunku wybuchowego pod pojazdem;
- w dachu musi znajdować się otwór do zamontowania obrotnicy strzelca broni pokładowej;
- zarys nadwozia nie może wystawać poza zarys podwozia;
- projekt zagospodarowania przestrzeni wewnątrz pojazdu ma zapewnić komfort osobie 95 centylowej (188 cm wzrostu) w pozycji siedzącej.

Na podstawie powyższych założeń zaproponowano dwa rozwiązania konstrukcyjne, tj. wersję krótką do przewozu 5 żołnierzy oraz wersję długą do przewozu 10 żołnierzy. Wirtualne modele bryły nadwozia 3D opracowano, uwzględniając pełną dokumentację techniczną podwozia UNIMOG. Wstępne prace koncepcyjne modeli 3D zobrazowano na rysunkach 2 ÷ 4.

a)



b)



Rys. 2. Koncepcja modelu 3D krótkiej wersji nadwoziowej:
a) szkic modelu, b) model komputerowy

Źródło: [7]

Istotnym elementem koncepcji nadwozia konstruowanego pojazdu było proponowanie rozwiązań otworu zamontowania obrotnicy strzelca broni pokładowej. To rozwiązanie powinno zapewniać montaż obrotnicy z automatycznym sterowaniem broni wewnątrz pojazdu, jak też zwykle obrotowe stanowisko strzeleckie zapewniające strzelcom wystawanie ponad dach pojazdu. Do dalszych prac projektowych przyjęto rozwiązanie zwykłego obrotowego stanowiska. W tym układzie występują dwa rozwiązania montowanych obrotnic - z podestem na nogi strzelca (rys. 5) i drugi sposób, w którym zamiast podestu, siedzisko jest podwieszane pod obrotnicę (obrotnica KTO Rosomak).

ETAPY KONSTRUOWANIA WYBRANYCH ZESPOŁÓW PROTOTYPU POJAZDU...

a)



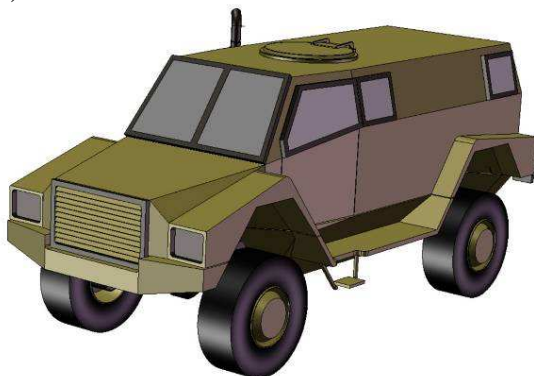
b)



Rys. 3. Koncepcja modelu 3D długiej wersji nadwoziowej:
a) szkic modelu w pierwszej wersji, b) model komputerowy w pierwszej wersji

Źródło: [7]

a)



b)



Rys. 4. Koncepcja modelu 3D długiej wersji nadwoziowej:
a) model komputerowy po kolejnej weryfikacji bryły nadwozia, b) model komputerowy w ostatecznej wersji bryły nadwozia

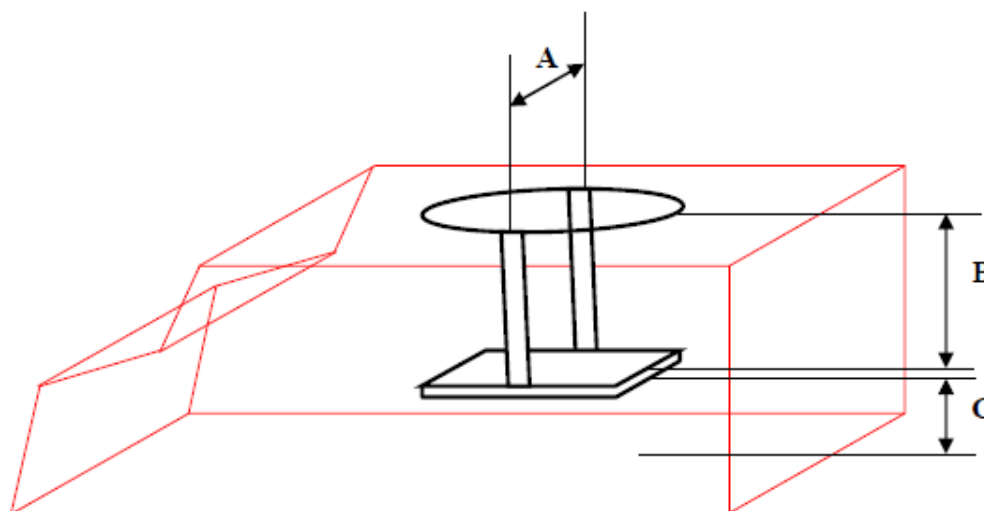
Źródło: [7]



Rys. 5. Umieszczenie podestu strzelca. Z lewej strony w pojeździe Cougar, z prawej w HMMWV

Źródło: [8]

Ostatecznie zaproponowano rozwiązanie przedstawione na rysunku 6.



Rys. 6. Schemat proponowanego rozwiązania otworu pod obrotnicę strzelca broni pokładowej:
 A – średnica włazu 610mm, B – maksymalna odległość podestu strzelca od dachu pojazdu $\geq 1000\text{mm}$, C – odległość podestu od podłogi ≥ 0 (wynika z konstrukcji pojazdu)

Źródło: [8]

Proponowane rozwiązanie wielkości otworów pod włazy dachowe dla projektowanej jednostki prototypowej powinno uwzględniać wymagania zawarte w normach [9, 10]. Po analizach tego elementu konstrukcyjnego przyjęto wielkości zestawione w tabeli 1.

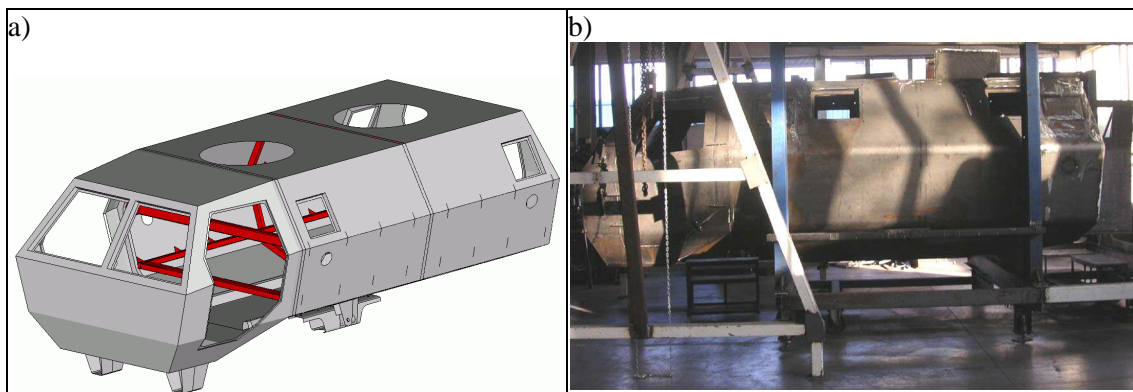
Tabela 1. Zestawienie wymiarów pod zabudowę obrotnicy strzelca broni pokładowej

Kształt włazu	Rozmiar włazu			
	minimalny	preferowany	żołnierz lekko ubrany	żołnierz ciężko ubrany
Okrągły	560mm	610mm	-	-
Prostokątny	480mm	560mm	580x330mm	690x410mm

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9, 10]

Zasadniczym elementem wygenerowanej koncepcji projektowanego pojazdu było wykonanie modelu rzeczywistego. Prace polegały na wykonaniu określonych zabiegów technologicznych, na podstawie których zbudowano bryłę nadwozia. Model bryły nadwozia wykonano ze stali 18G2A. Ostateczne prace ukierunkowano na dopasowaniu elementów mocujących nadwozia do podwozia i dalszych czynnościach poprawy błędów wynikłych z etapu prac koncepcyjnych i projektowo-konstrukcyjnych [11]. W ten sposób zbudowany obiekt fizyczny został poddany weryfikacji. Następnie sporządzono dokumentację techniczną i przystąpiono do wyboru materiału balistycznego w celu zbudowania ostatecznie nadwozia z materiału docelowego.

Etapy powstawania modelu nadwozia pojazdu nowo konstruowanego przedstawiono na rysunkach 7 ÷ 8.



Rys. 7. Model nadwozia konstruowanego demonstratora pojazdu M-ATV:
a) model komputerowy 3D, b) obiekt rzeczywisty

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [7]



Rys. 8. Demonstrator technologii w wersji przeznaczony do badań balistycznych

Źródło: Opracowanie własne

2. ANALIZA TWORZYWA DO ZABUDOWY NADWOZIA

Wybór tworzywa do zabudowy nadwozia prototypu M-ATV G 10 został poprzedzony analizami porównawczymi dostępnych produktów na rynku. Celem było wskazanie optymalnego rozwiązania, spełniającego warunki własności mechaniczno-wytrzymałościowych, jak też w głównej mierze pochłaniania energii uderzenia pocisków wystrzelanych z broni strzeleckiej i oddziaływania fali wybuchowej. Zasadnicze wartości analizowanej stali przeznaczonej do budowy kapsuły zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie składu chemicznego i parametrów wytrzymałościowo-mechanicznych

Wysz.	Jed.	Armox 500	Armox* 500	Compass B555	Compass* B555	Armotec 500	Armotec* 500	Secure 500
C	%	max 0.320	0.280	-	-	max 0.32	0.11	max 0.32
Mn	%	max 1.200	0.860	-	-	max 1,2	1,2	max 1,0
Si	%	0.100-0.400	0.260	-	-	0,1-0,4	0.54	max 0.4
P	%	max 0.015	0.006	-	-	max 0.015	0.017	max 0.015
S	%	max 0.010	0.001	-	-	max 0.010	0.008	max 0.005
Cr	%	max 1.000	0.500	-	-	max 1.0	0.33	max 1,5
Ni	%	max 1.800	0.870	-	-	max 1.8	0.01	max 0.7
Mo	%	max 0.700	0.352	-	-	max 0.7	0.014	max 0.5
B	%	max 0.005	0.002	-	-	max 0.005	0.001	-
$R_{p0,2}$	MPa	min 1250	1442	1400	1543	1250	765	1300
R_m	MPa	1450-1750	1625	1650	1769	1600	1393	1600
A_5	%	min 8	13	min 8	12	min 8	4,2	9
$KCV_{-40^{\circ}C}$	J/cm ²	min 20	104	min 17	111	20	4,2	15
$KCU_{+20^{\circ}C}$	J/cm ²	-	185	min 25	183	-	9,5	-
HBW	-	480-540	512	480-530	455	450-530	440	480-530

* wyniki badań własnych

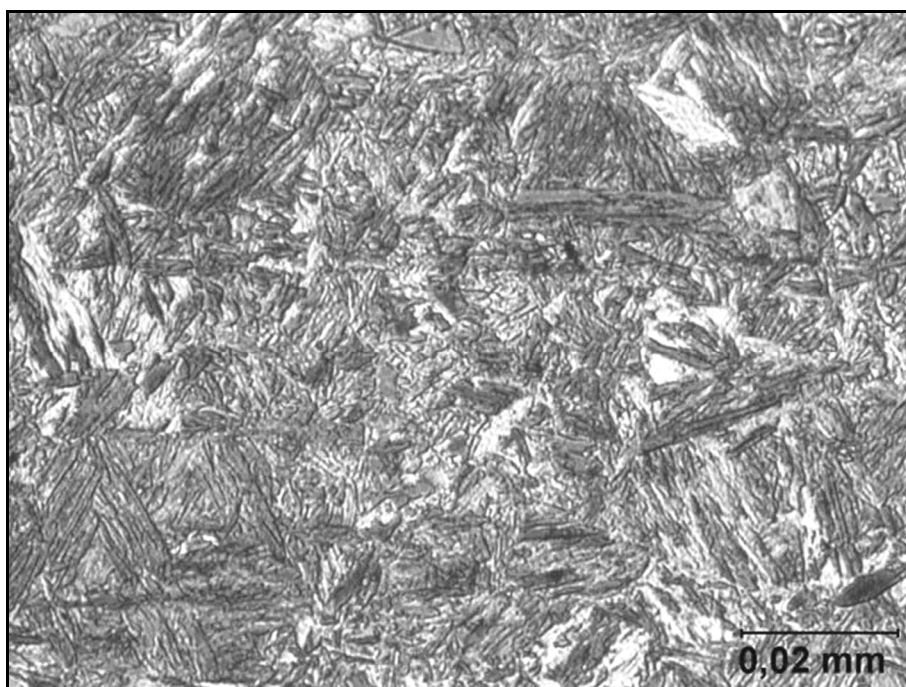
Źródło: Opracowanie własne

Wstępne badania podstawowych parametrów wytrzymałościowo - mechanicznych i analiza spektralna skłaniały do wyboru stali Armox 500. Jednak ostateczna decyzja o wyborze została podjęta po przeprowadzeniu mikroskopowej struktury materiału. Ocenie tej poddano trzy rodzaje stali, prezentując wyniki na rysunkach 9 ÷ 11.

Z obserwacji mikroskopowych nasuwają się następujące spostrzeżenia: struktury płyt (rys. 9 ÷ 10) składają się z drobnoiglastego martenzytu odpuszczania z niewielką ilością bainitu. Struktura płyty prezentowanej na rysunku 11 odbiega od pozostałych struktur. Zamiast otrzymać strukturę martenzytu odpuszczania, otrzymano strukturę ferrytyczno-martenzytyczną. Odstępstwo to spowodowane jest nieprawidłowym składem chemicznym zbadanego tworzywa (tab. 2) w stosunku do deklarowanych wartości przez producenta. Można wnioskować, że temperatura hartowania została ustalona dla wyższych zawartości węgla (max 0,32 %), a w rzeczywistości ta zawartość to 0,11 %. Przy takiej zawartości węgla nie uzyskuje się w tej temperaturze jednorodnego austenitu, lecz austenit z ferrytem. Niewłaściwa technologia hartowania

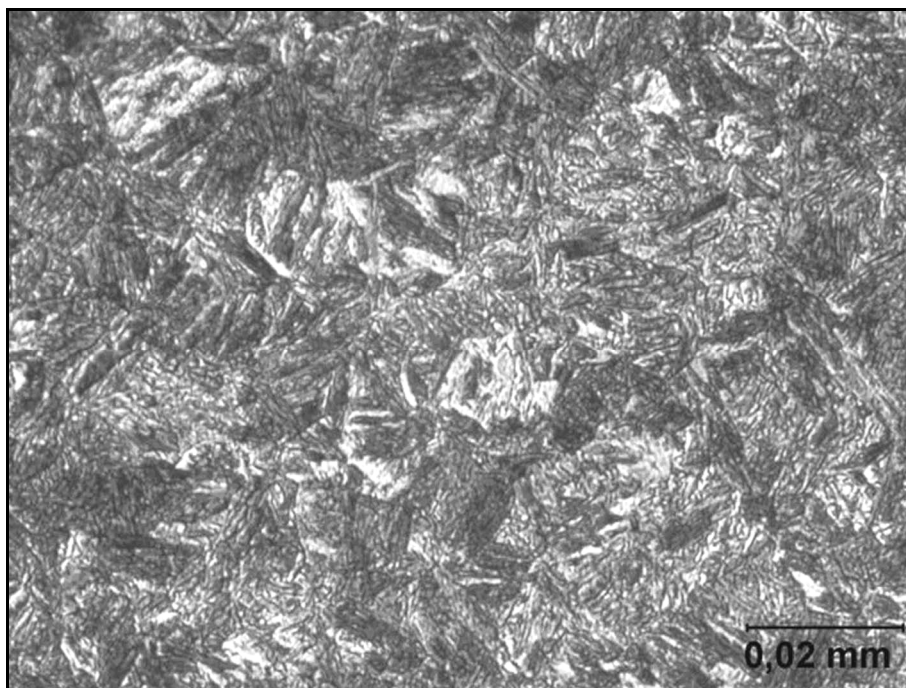
(hartowanie niezupełne) przyczyniła się do uzyskania struktur ferrytyczno-martenzytycznych zamiast martenzytycznych. To tworzywo powinno mieć jednorodną strukturę martenzytu odpuszczonego, który wykazuje między innymi stabilny poziom udarności w funkcji temperatury. Otrzymany rzeczywisty stan struktury uzasadnia zarówno niski poziom udarności badanego materiału, jak i innych wskaźników wytrzymałościowych (tab. 2).

Struktury Armox 500 i Compass B 555 zarówno w składzie chemicznym, jak i budowie strukturalnej tych materiałów wykazują duże podobieństwo. Pewne różnice można zauważyć w stali Armox. Zaobserwowano lokalnie w strukturze wydzielenia azotków tytanu, którego zawartość nie jest ujmowana przez producenta w składzie chemicznym. W strukturach Armox i Compass, oprócz martenzytu odpuszczania, stwierdzono występowanie niewielkich ilości bainitu.



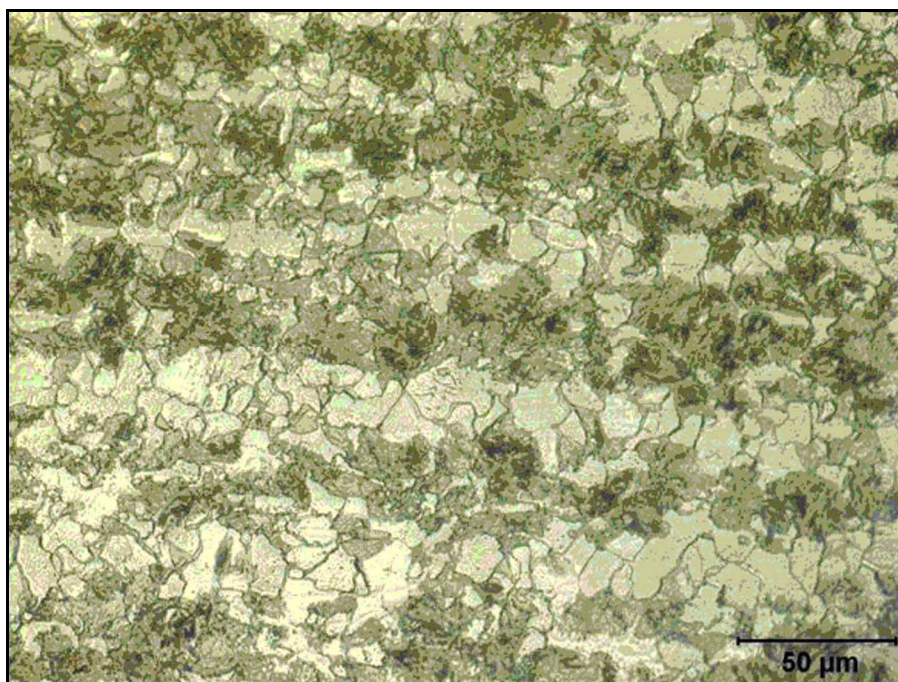
Rys. 9. Struktura blachy pancernej Armox 500 – martenzyt odpuszczania.
Mikroskopia świetlna. Traw. 5% HNO_3

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 10. Struktura blachy pancernej Compass B555 – martenzyt odpuszczania. Mikroskopia świetlna. Traw. 5% HNO₃

Źródło: Opracowanie własne

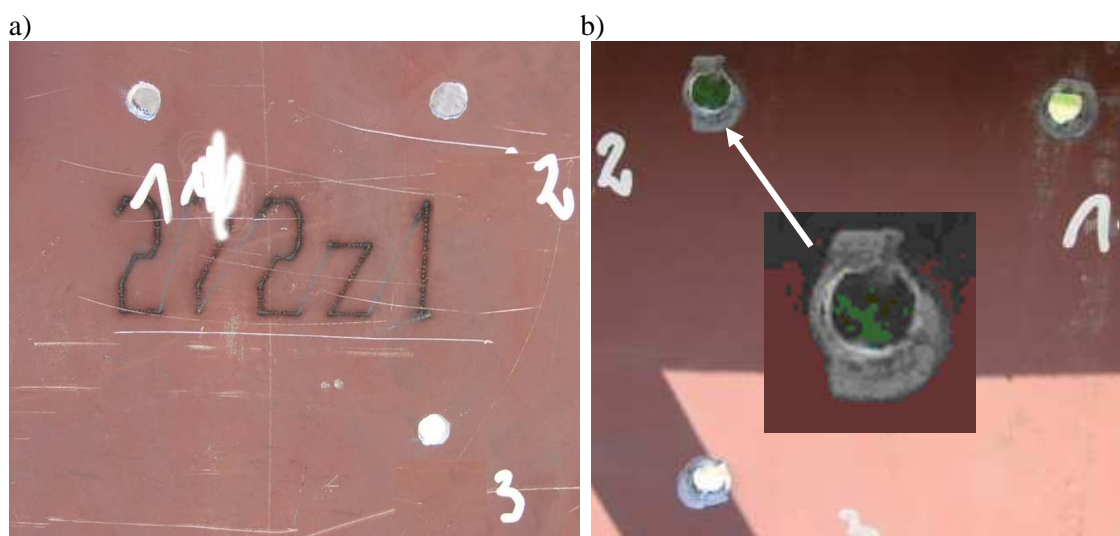


Rys. 11. Struktura blachy pancernej Armotec 500 – ferrytyczno-martenzytyczna o pasmowym ułożeniu ferrytu. Mikroskopia świetlna. Traw. Mi1Fe

Źródło: Opracowanie własne

3. WYBRANE WYNIKI BADAŃ BALISTYCZNYCH

Badania balistyczne zawężono jedynie do sprawdzenia odporności balistycznej proponowanych rodzajów stali. Zakres badań został przeprowadzony zgodnie z wymaganiami zawartymi w STANAG 4569 i AEP-55, Vol. 1, Ed.1. Ostrzałowi poddano płyty pancerne o grubościach $\neq 6\text{mm}$, $\neq 8\text{mm}$, $\neq 10\text{mm}$. Blachy pancerne ($\neq 6\text{mm}$) ostrzelane amunicją 5,56x45mm, 7,62x39mm, 7,62x54mm i 7,62x51mm z pociskami zwykłymi nie zostały przestrzelone. Tylko stal pancerna Armotec 500 nie przeszła pozytywnego sprawdzianu. Podobnie jak podczas badań metalograficznych jej parametry odporności balistycznej (rys. 12) odbiegały od deklarowanych w certyfikacie producenta.

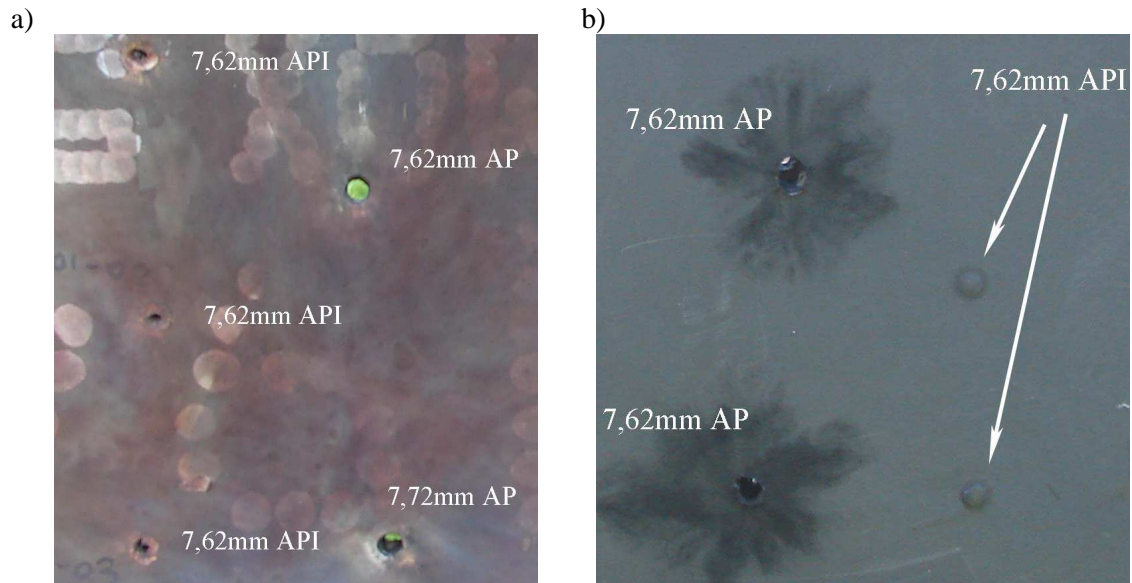


Rys. 12. Widok ostrzelanej blachy pancernej Armotec 500 $\neq 6\text{mm}$ pociskami typu ŁPS:
a) front ostrzelanej próbki, b) tył ostrzelanej próbki

Źródło: Opracowanie własne

W kolejnej próbie balistycznej sprawdzenie przeprowadzono przeciwpancernymi pociskami karabinowymi typu: 7,62x54mm B 32, 7,62x51mm AP i 7,62x51mm API. Testy wykonano na stalach o grubości $\neq 8\text{mm}$ i $\neq 10\text{mm}$. Płyty pancerne nie przeszły pozytywnej oceny. Jedynie pociski typu API zostały zatrzymane na płytach pancernych o grubości $\neq 10\text{mm}$.

Na podstawie prób balistycznych stwierdza się, że blachy pancerne już od grubości $\neq 6\text{mm}$ są w stanie zatrzymać zwykłe pociski amunicji pośredniej i karabinowej. Ten rodzaj amunicji definiuje I poziom ochrony balistycznej STANAG 4569 załącznik A. W momencie, kiedy do badań balistycznych wykorzystywana jest strzelecka amunicja przeciwpancerna, blachy grubości na poziomie $\neq 10\text{mm}$ są mało skuteczne. Jak przedstawiono na rysunku 13, jedynie pocisk API został zatrzymany. Na trzy próby, w dwóch nastąpiła widoczna perforacja. Pociski AP wykazały się stuprocentową skutecznością. Brak prób z wykorzystaniem amunicji 7,62mm BZ spowodował trudności w ocenie możliwości ochrony balistycznej na II poziomie analizowanego STANAG-u. Według literatury [12] poziom II spełnia blacha pancerna o grubości $\neq 12\text{mm}$ lub blacha $\neq 10\text{mm}$ w układzie „spall liners”.



Rys. 13. Widok ostrzelanej blachy pancernej Armox 500 \neq 10mm pociskami przeciwpancernymi:

a) front ostrzelanej próbki, b) tył ostrzelanej próbki

Źródło: Opracowanie własne

PODSUMOWANIE

Przedstawiony fragment prac konstruowania wybranych zespołów prototypu M-ATV pokazuje, jak szerokie zagadnienia muszą być uwzględniane na poszczególnych etapach badań przemysłowych. Metodyka przyjęcia konkretnej koncepcji obiektu fizycznego wymusiła przeprowadzenie wielu analiz dostępnych wersji podwozia i już istniejących rozwiązań na rynku. Zdefiniowane zagrożenia i wymagania stawiane konstruowanemu pojazdowi posłużyły do przyjęcia określonego kierunku prac w zakresie stworzenia nowoczesnego nadwozia, które w połączeniu z zaproponowanym podwoziem będzie skupiało wszystkie cechy stawiane pojazdom klasy M-ATV. Cały zakres prac studyjnych, aż do powstania demonstratora technologii, spowodował przyjęcie optymalnego rozwiązania i przystąpienie do wykonania egzemplarza prototypowego. Na przykładzie badań materiałowych i badań balistycznych można było określić rodzaj tworzywa do wykonania nadwozia, które w końcowym etapie mogło być poddawane ostrym kryteriom badań poligonowych.

Reasumując, złożoność problemów badawczych pokazuje całokształt przedsięwzięć projektowo-konstrukcyjnych.

LITERATURA

- [1] Kozerański D., *Międzynarodowe działania stabilizacyjne w świetle doświadczeń X zmiany PKW Irak 2008*, Wydawnictwo AON, Warszawa 2010.
- [2] Bielewicz M., Makowiec P., *The tanks in town an american experience in use of armor in the urbanized terrain. Perspektivni vojenske tehnologije a jejich vliv na razvoj vedeni operaci*, [w:] Mezinarodni konference „TAKTIKA 2009”, Univerzita Obrany, Brno 2009, s. 29-36.
- [3] Blakeman S. T., Gibas A. R., Jeyasingam J., *Study of the Mine Resistant Ambush Protected (MRAP) Vehicle Program as a Model for Rapid Defense Acquisitions*,

- MBA professional report, Naval Postgraduate School, Monterey, California, December 2008.
- [4] Feickert A., *Mine-Resistant, Ambush-Protected (MRAP) Vehicles*, Congressional Research Service, August 2010, 7-5700, www.crs.gov, RS22707.
- [5] Decyzja Nr 559/MON Ministra Obrony Narodowej z dnia 06 grudnia 2007 r. w sprawie wprowadzenia „Procedury opracowania krajowego samochodu klasy MRAP o podwyższonej odporności na improwizowane ładunki wybuchowe, miny i pociski karabinowe dla Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej”.
- [6] Iluk A., Lewandowski T., Malcher K., Słomski W., Ptak J., *Koncepcja opancerzonego samochodu patrolowego klasy M-ATV*, [w:] „Górnictwo Odkrywkowe” nr 4/2010, Wrocław 2010, s. 116-120.
- [7] *Raport merytoryczny z realizacji projektu celowego Nr 381/BO/B*. Dom Samochodowy Germaz Sp. z o.o., Wrocław 2010, Materiały niepublikowane.
- [8] Sopoćko K., *Adaptacja wnętrza pojazdu wojskowego do zamontowania obrotnicy strzelca broni pokładowej*, Toruń 2010, Materiały niepublikowane.
- [9] *MIL-HDBK-759C – U.S. Department of Defense*, Handbook for Human Engineering Design.
- [10] *MIL-STD-1472F – U.S. Department of Defense*, Design Criteria Standard, Human Engineering.
- [11] Koziółek S., Rusiński E., Jamroziak., *Critical to Quality Factors of Engineering Design Process of Armoured Vehicles*, [in:] “Solid State Phenomena”, Vol. 165 (2010), pp. 280-284, Trans Tech Publications, Switzerland.
- [12] Wiśniewski A., *Pancerze, budowa, projektowanie i badania*, WNT. Warszawa 2001.

CONSTRUCTION PHASES OF SELECTED COMPONENTS OF M-ATV CLASS VEHICLE PROTOTYPE

Summary

The article describes the development of design and construction guidelines (assumptions) for selected components of M-ATV G-10 vehicle. Based on these examples, a methodology of 3D model selection was presented and a technology demonstrator was built. An analysis and selection of material for building a technology demonstrator's body was conducted. The final conclusions were formulated based on selected ballistic tests.

Key words: *M-ATV vehicle, construction, technology demonstrator, materials testing, ballistic impact*

Artykuł recenzował: dr hab. inż. Tadeusz SMOLNICKI, prof. nadzw. PWR