

Wojciech JURCZAK<sup>1</sup>  
Krzysztof ŚWIĄTEK<sup>1</sup>  
Stanisław JÓZWAK<sup>2</sup>

### **WIELOWARSTWOWE OSŁONY BALISTYCZNE NA MORSKIE I LĄDOWE KONSTRUKCJE ŚRODKÓW TRANSPORTU BOJOWEGO**

*W artykule przedstawiono wyniki badań odporności balistycznej (OB) stali Armox500, okrętowego stopu aluminium i stali kadłubowej. Stal Armox500 jest stosowana na osłony balistyczne dla środków transportu bojowego (lądowego w gatunku T i morskiego w gatunku S). W tym celu przeprowadzono przestrzeliwanie tych materiałów pociskiem kalibru 7,62mm z wykorzystaniem wahadła balistycznego (WB). Badane materiały lite (1-warstwowe) i dzielone (2-warstwowe) w tej samej grubości w postaci krążków o średnicy 50 mm przestrzeliwano pociskiem kalibru 7,62 mm ŁPS lub B32. Stwierdzono, że dla stali kadłubowej 2-warstwowe próbki materiału chronionego mają mniejszą odporność balistyczną niż 1-warstwowe (lite) w tej samej grubości przeciwnie do okrętowego stopu aluminium. Dzieląc stop aluminium na warstwy uzyskujemy znacznie lepszą OB. Lita stal Armox500 o grubości 7mm nie ulega perforacji pociskiem 7,62mm B32 podobnie jak 8mm grubości ceramika  $Al_2O_3$  przestrzeliwana pociskiem 7,62mm ŁPS. Dzielenie Armox-u 500 obniża jego skuteczność ochronną.*

### **MULTILAYER BALLISTIC SHIELDS FOR MARINE AND LAND MEANS OF MILITARY TRANSPORT**

*The paper presents the results of investigation on a ballistic resistance of Armox500 steel, aluminum alloy for shipbuilding and ship hull steel. Armox500 steel is utilized in the ballistic shields for means of military transport (land transport of type T and marine one of type S). Accordingly, the materials mentioned above were subjected to shooting with a bullet of the caliber 7,62 mm using a ballistic pendulum. Monolithic (single layer) and divided (double layer) materials of the same total thickness were in the form of disks having diameter equal 50 mm. The ŁPS bullet was used for testing the naval materials whereas the B32 was applied for Armox500.*

*It was found that the double layer ship hull steel exhibited worse ballistic resistance than the single layer sample of the same thickness. The opposite situation was discovered for aluminum alloy – dividing it into layers one obtains superior ballistic resistance. Monolithic Armox500 steel of 7 mm thickness does not undergo perforation upon an impact of 7,62 mm B32 bullet. Similarly  $Al_2O_3$  ceramic material of 8 mm thickness exhibits effective protection against 7,62 mm ŁPS bullet. Dividing Armox500 decreases its ballistic resistance.*

<sup>1</sup> Akademia Marynarki Wojennej, Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn,  
w.jurczak@amw.gdynia.pl, tel. (58) 6262616

<sup>2</sup> Wojskowa Akademia Techniczna, Katedra Zaawansowanych Materiałów i Technologii

## 1. WPROWADZENIE

Każdy środek transportu o przeznaczeniu militarnym oprócz poprawnych właściwości eksploatacyjnych (szybkość, zwrotność, przyspieszenie) powinien charakteryzować się co najmniej dobrą odpornością na działanie sił uderowych. Lekkie i średnie opancerzenie wozów bojowych piechoty (wbp), transporterów opancerzonych (tp), wozów rozpoznawczych i nośników ciężkiego uzbrojenia wykazuje „zwykle” odporność na pociski przeciwpancerne AP (armour piercing), armat małokalibrowych (20-30 mm) i broni maszynowej oraz odłamki (np. 152 mm pocisku) i miny przeciwpiechotne [1]. Oddziaływanie współczesnych środków walki poprzez ostrzał czy zagrożenie wybuchem (pośrednim lub bezpośrednim) konstrukcji środka transportu stanowi zagrożenie zdrowia i życia załogi. Konstrukcja środka transportu bojowego zawiera wiele rozwiązań optymalnych zapewnających powyżej przedstawione wymagania, które mają zapewnić wykonanie zadania bojowego. Ostatnie doświadczenia na misjach pokazują jednak potrzebę dopracowania OB konstrukcji tych środków transportowych. Zdecydowanie od prędkości i zwrotności środka transportu ważniejsze staje się bezpieczeństwo załogi, stąd najczęściej stosowanym materiałem na konstrukcję tego typu jest wysokowytrzymała stal, której trzykrotnie większa gęstość od stopów aluminium ogranicza zdolności manewrowe pojazdu lądowego czy okrętu. Od współczesnych specjalnych materiałów wymaga się kojarzenia dostatecznie korzystnych kombinacji własności wytrzymałościowych, plastycznych, fizykochemicznych i technologicznych, umożliwiających poprawne ukształtowanie, spawanie oraz wysokiej trwałości eksploatacyjnej, sztywności i odporności na przebijanie, zwłaszcza w czasie różnych działań bojowych.

Dobór optymalnych materiałów i technologii osłon pancernych wymaga ciągłego doskonalenia stąd badania przestrzeliania materiałów konstrukcyjnych prowadzone są także na specjalistycznych stanowiskach w wielu ośrodkach naukowych także w Akademii Marynarki Wojennej (AMW).

Stale stosowane na wojskowe konstrukcje środków transportu charakteryzują się nie tylko wysoką twardością ( $\leq 650$  HB) i wytrzymałością ( $R_m > 1500$  MPa), ale jednocześnie dużą ciągliwością i dobrą spawalnością. Wymogi norm opisują ww. właściwości i wg MIL-A-12560 (USA).

W krajach europejskich na konstrukcje o podwyższonej WB wykorzystano stale typu HY80, HY-130/T, HY-130/180, HY-180/210 czyli 10Ni-2Cr-Mo-8Co, wykazująca:  $R_m > 2100$  MPa i  $KV_{T=60^\circ C} > 27$  J, oraz inne stale przydatne na jednorodne płyty pancerne o składach chemicznych i własnościach podanych w tab. 1 [1].

Tabela 1. Składy chemiczne stali pancernych typu Armox

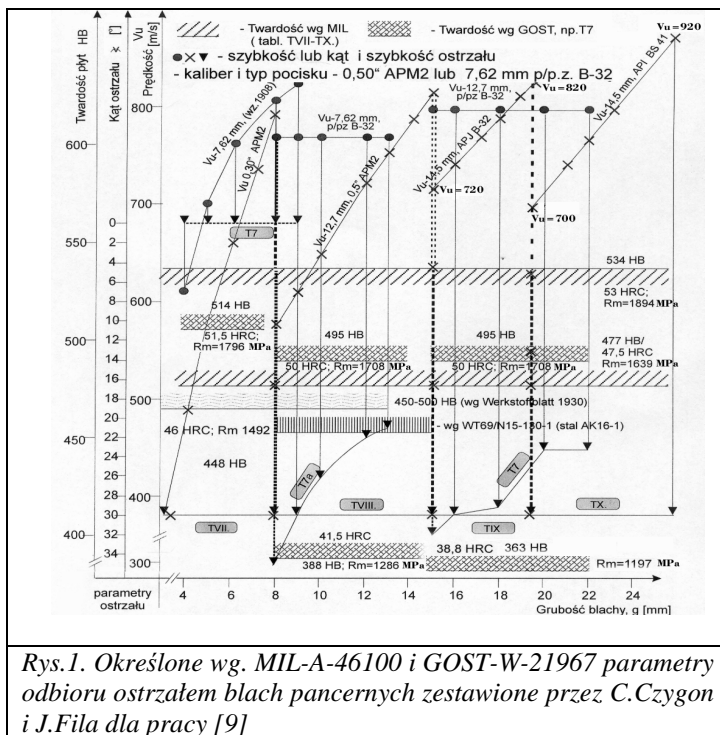
Oznaczenie stali	Skład chemiczny, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B/V
Armox 560S - Szwecja	max 0,37	max 0,40	max 1,20	max 0,01	max 0,01	max 1,50	max 3,50	max 0,70	max 0,005
Armox 46100- - Szwecja	max 0,32	0,10 0,40	max 1,20	max 0,01	max 0,01	max 1,50	max 1,80	max 0,70	max 0,005
Armox 500S – Szwecja	max 0,30	0,10 0,40	max 1,20	max 0,01	max 0,01	max 1,00	max 1,30	max 0,70	max 0,005
Armox 370S – Szwecja	śr. 0,28	śr. 0,25	śr. 0,50	max 0,01	max 0,01	śr. 0,50	śr. 0,90	śr. 0,35	śr. 0,002
Armox 500 – Szwecja	śr. 0,25	śr. 0,50	śr. 1,20	max 0,015	max 0,01	śr. 0,50	-	śr. 0,20	śr. 0,002
Armox 500 T– Szwecja	max 0,32	0,1- 0,4	max 1,20	max 0,015	max 0,01	max 1,0	max 1,8	max 0,7	max. 0,005

Armox500 w odmianie S ( o zmniejszonej zawartości węgla i fosforu w stosunku do T) stosowana jest w osłonie wybranych przedziałów okrętowych natomiast odmiana T często stosowana jest na osłonę konstrukcji pojazdów lądowych. Jednak zbliżone właściwości wytrzymałościowe tych odmian nie dzielą tą stal wg przeznaczenia.

Podkreślenia wymaga fakt, że firma SSAB produkuje swoje blachy z wykorzystaniem technologii obróbki cieplno-mechanicznej, tj. z odpowiednim ich podchładzaniem i hartowaniem bezpośrednio na samotoku walcarki.

Do badań własnych przyjęto materiały konstrukcyjne lite i dzielone stosowane na konstrukcje okrętowe i stali typu Armox 500 stosowanej na osłony balistyczne tych materiałów.

Porównawcza ocena ich wytrzymałości balistycznej WB- (określonej wg DIN 52 290, z użyciem karabinu snajperskiego typu SWD-7.62 mm, przy wartościach „V50”, L = 10 m,  $E_k = 3000$  J) - umożliwiły w szczególności stwierdzenie, że przed wystrzelonym z niego pociskiem ŁPS (typu AP-7,62 mm, rdzeń stalowy nie hartowany) lub odłamkiem o podobnej energii kinetycznej  $E_k$  mogą skutecznie osłaniać odpowiednio grube płyty pancerne. Stale pancerne podlegają testom WB wg rys.1.



Rys.1. Określone wg. MIL-A-46100 i GOST-W-21967 parametry odbioru ostrzałem blach pancernych zestawione przez C.Czyżon i J.Fila dla pracy [9]

Analiza zestawionych na rys.1 danych o wymaganiach zawartych w różnych normach obronnych wskazuje, że do testowania ostrzałem płyt osłonowych grubości do 15 mm wymagane są pociski różnych rodzajów i kalibrów (7,62 i 12,7 mm) oraz odmienne prędkości i kąty ostrzału. Grubsze płyty testuje się pociskami kalibru 14,5 mm i większych. Wg norm zachodnich obowiązuje ponadto zróżnicowanie prędkości pocisków dla każdego przyrostu grubości płyt o 0,005 cala, co w praktyce powoduje konieczność elaboracji nabojęw. Rosyjskie normy różnicują parametry ostrzału dla nominalnych grubości płyt oraz kąty i odległości ostrzału ( $L_o$ ) lub kąty przy stałych wartościach  $L_o$  i prędkościach V25. Natomiast normy DIN 52 290, European Standard „CEN” oraz ONORM S (Austria) jeszcze inaczej klasyfikują rodzaje zagrożeń oraz wymagania dla testów lekkich materiałów osłonowych [3].

Należy przy tym zaznaczyć, że próbki stalowe nie wykazują tak znacznego wzrostu udarności na skutek ich podziału. Przykładowo, próbki złożone z dwóch luźno stykających się ze sobą płytek ze stali St3 z karbem w postaci przelotowego otworu w osi uderzenia mają ok. 20% większą udarność w stosunku do próbek litych z podobnym karbem, zaś udarność 1- i 2-warstwowych próbek z St5 jest praktycznie taka sama [3]. Konfiguracja osłon wielowarstwowych w odniesieniu do grubości nawet dla tego samego materiału ma wpływ na OB. Ilustracją tego może być fakt, że wyniki badań 3-warstwowej próbki ze stali pancernej o całkowitej grubości 43 mm wykazują za próbką nieco mniejszą prędkość pocisku niż w przypadku próbki 1-warstwowej o grubości 43 mm przy prędkości uderzenia pocisku rzędu 1 km/s i konfiguracjach warstw 6/31/6 mm oraz 6/6/31 mm lecz

większą przy konfiguracji 31/6/6 mm, przy czym przy większych prędkościach początkowych pocisku te różnice maleją [4]. Z kolei analogiczne badania porównawcze przeprowadzono dla próbek 8 mm, 2/6 mm, 6/2 mm i 4/4 mm z miękkiej stali (niskowęglowej), przestrzeliwanych pociskiem kalibru 7,62 mm o masie 11,75 g i prędkości od 706 m/s do 826 m/s jednoznacznie wskazują wyższość 1-warstwowej próbki nad 2-warstwowymi [5]. Dlatego też badaniami objęto próbki jedno- dwu- i wielowarstwowe. Badania przeprowadzono na stanowisku zbudowanym w AMW szczegółowo opisanym wraz z metodyką w pracy [6]. Coroczna modyfikacja i doposażenie tego stanowiska wynika z dostępności do szybkozmiennych technik pomiarowych w postaci kamer, oscyloskopów [7]

## 2. BADANIA WŁASNE

Celem badania było ocena wpływu dzielenia materiałów konstrukcyjnych i osłonowych na ich OB. Ostrzał próbek materiałów osłonowych dokonywano z karabinu maszynowego PK kal. 7,62 pociskami typu ŁPS o masie 9,6g i szybkości  $V_{50}=825\pm 10 \text{ ms}^{-1}$  i B32 o masie 9,95g i szybkości  $V_{50}=845\pm 10 \text{ ms}^{-1}$

Próby OB przeprowadzono na specjalnym stanowisku pomiarowym – umożliwiającym rejestrację takich parametrów jak: prędkość pocisku przed ostrzeliwaną próbką, prędkość pocisku za próbką, kąt wychylenia wahadła, siła odnotowana na tulei dynamometrycznej.

Próbki wielowarstwowe do badań OB złożono z kombinacji dwóch krążków o średnicy 50 mm w grubości równej próbki jednowarstwowej badanych materiałów, których składy chemiczne i właściwości podano odpowiednio w tabeli 2 i 3.

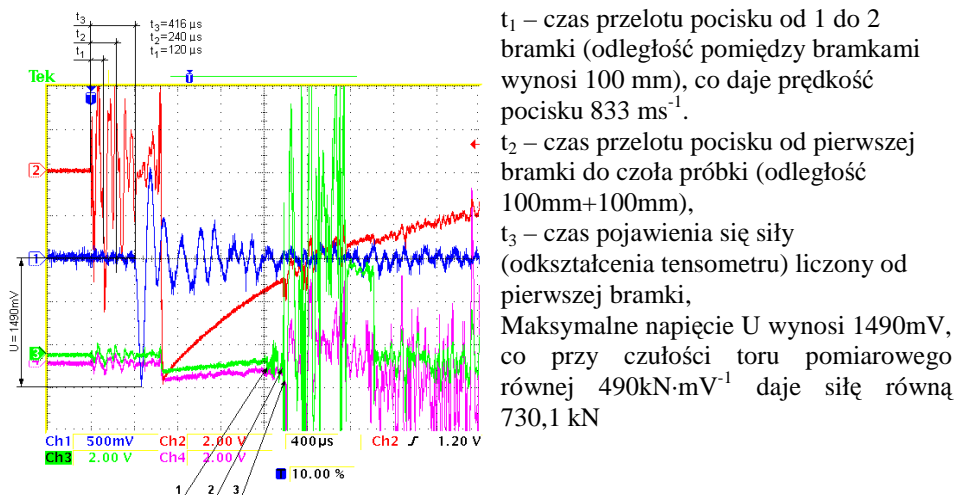
*Tabela 2. Składy chemiczne wybranych stali stosowanych na środki transportu bojowego*

Oznaczenie stali	Skład chemiczny, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B/V
Armox 500S	0,30	0,40	1,20	0,01	0,01	1,00	1,30	0,70	0,005
Armox 500T	0,32	0,4	1,20	0,015	0,01	1,0	1,8	0,7	/0,005
Stal kadłubowa kat A	0,14	0,21	0,69	0,008	0,01	-	-	-	-/ Al 0,045
Stop aluminium AlZn5Mg2CrZr	Zn 5,13	Mg 1,9	0,057	Zr 0,15	Ti 0,071	0,16	0,006	Fe 0,27	Al reszta

W trakcie przestrzeliwania mierzono i rejestrowano na oscylogramach wyżej wymienione wielkości fizyczne, które zestawiono w tabeli 4 i 5. Przykładowy oscylogram pokazano na rys.2.

Tabela 3. Właściwości pojedynczej warstwy osłony wielowarstwowej dla środków transportu bojowego

Dane z atestu			Wartości pomierzone		
Typ stali	Wytrzymałość na rozrywanie $R_m$ [MPa]	Granica plastyczności $R_e$ [MPa]	Grubość [mm]	Udarność KCV30 *KCV10	Gęstość [ $g/cm^3$ ]
Armox 500 T	1650	1300	3,5 7	520	7,8
Armox 500 S	1600	1200	3,5 7	520	7,8
Stal kadłubowa kat.A	510	325	6.35	133	7.6
Stal kadłubowa kat.A	490	230	12.08	160	7.7
Stop aluminium AlZn5Mg2CrZr	415	367	6.32	93.5*	2.76
Stop aluminium AlZn5Mg2CrZr	423	378	11.75	122.5*	2.73



$t_1$  – czas przelotu pocisku od 1 do 2 bramki (odległość pomiędzy bramkami wynosi 100 mm), co daje prędkość pocisku  $833 \text{ ms}^{-1}$ .  
 $t_2$  – czas przelotu pocisku od pierwszej bramki do czoła próbki (odległość  $100\text{mm}+100\text{mm}$ ),  
 $t_3$  – czas pojawienia się siły (odkształcenia tensometru) liczony od pierwszej bramki,  
 Maksymalne napięcie  $U$  wynosi  $1490\text{mV}$ , co przy czułości toru pomiarowego równej  $490\text{kN}\cdot\text{mV}^{-1}$  daje siłę równą  $730,1 \text{ kN}$

Rys. 2. Przykładowy oscylogram przy przestrzeliwaniu stali

### 3 ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

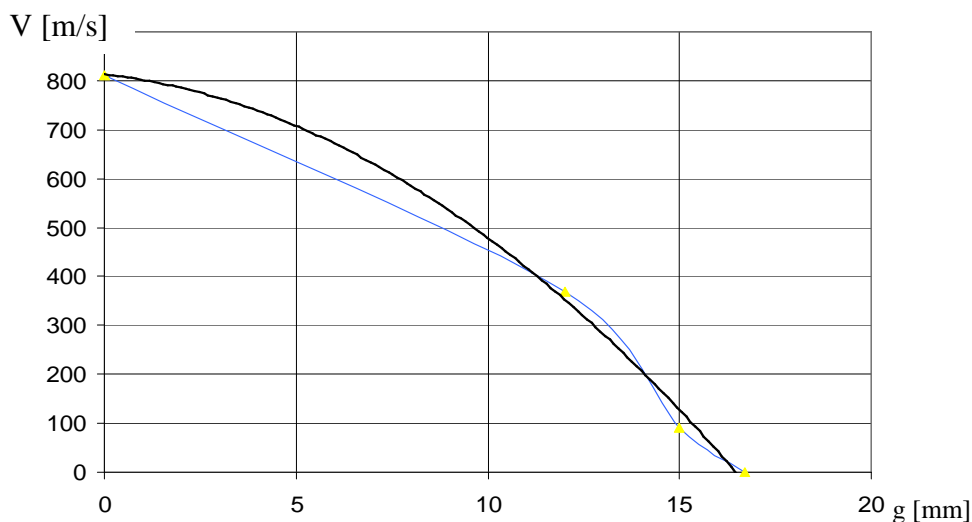
Defragmentacja materiału chronionego np. stopu aluminium (Al) w wyniku ostrzału stanowi duże prawdopodobieństwo intensywnej odłamkowości co uznano za wadę materiału konstrukcyjnego lub kompozycji osłony balistycznej. Eksperymentalnie w próbce nr.25 tabeli 4 celowo złamano obowiązującą zasadę, która ustala, że w wielowarstwowych osłonach pierwszą warstwę stanowi materiał o największej twardości. Konsekwencją tego działania była silna defragmentacja zwiększająca znacznie pole rażenia.

Na podstawie wyników przestrzeliwania Armox-u500 (próbki nr 7, 8 i 9) oszacowano wartości prędkość pocisku za próbką w funkcji grubości przestrzeliwanego ale dzielonego materiału przy założeniu, że średnia prędkość początkowa pocisku wynosi ok.

812 m/s. Łączna grubości próbki dzielonej stali Armox 500 wynosząca 17 mm skutecznie zatrzymuje pocisk kal 7,62 mm B32.

Tabela 4. Parametry przestrzeliwania odczytane z oscylogramów.

Próbka nr	Charakterystyka próbki mm	Siła kN	Prędkość		Kąt °	Uwagi
			V 1-2 m/s	V 3-4 m/s		
Pocisk 7,62mm ŁPS $E_k \sim 3300J$						
1A-C	1x12mm AlZn5Mg2CrZr	13,4	889	714	1	Średnia z 3 próbek
1D-E	2x6mm AlZn5Mg2CrZr	20,7	870	715	1,33	Średnia z 3 próbek
2A-C	1x12mm stal kadłubowa kat A	96,2	877	455	6,2	Średnia z 3 próbek
2D-E	2x6mm stal kadłubowa kat A	63,3	846	516	5,8	Średnia z 3 próbek
3A-C	1x6mm AlZn5Mg2CrZr+1x6mm stal kadł. kat A	35,9	878	691	2,4	Średnia z 3 próbek Strzał od strony alu
3D-E	1x6mm stal kadł. kat A +1x6mm AlZn5Mg2CrZ	59,8	869	582	3,3	Średnia z 3 próbek Strzał od strony stal
4A-C	1x8mm Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +1x6mm AlZn5Mg2CrZ	86	883	0	9	Średnia z 3 próbek Strzał od strony cer
4D-E	1x6mm AlZn5Mg2CrZ +1x8mm Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	72,5	872	563	6,3	Średnia z 3 próbek Strzał od strony alu
Pocisk 7,62mm B32 $E_k \sim 3600J$						
7	12 2x6mm Armox 500T	120	817	369	8,0	
8	15 3+6+6 mm Armox 500T	156	804	92	9,0	
9	16,7 8,32+8,36 mm Armox 500T	156	817	0	9,0	nie przebiło
15	6mm Armox 500T + 2x8mm stal kat A	-19	804	0	9,0	nie przebiło
21	6,93mm Armox + 2x6mm Al klejone	56	795	0	9,0	defragmentacja Al
17	7mm Armox 500T + 12mm Al.	120	787	0	9,0	nie przebiło
20	8,33mm Armox + guma zbroj + 6mm Al	38	808	brak	9,0	defragmentacja Al
24	2x3,6mm Armox + guma gr + 6mm Al	29	801	541	5,0	
23	2x3,5mm Armox + guma + 6mm Al	27	797	134	5,0	
19	2x3,5mm Armox + 6mm Al + 10mm Al	69	803	184	7,0	
25	3,5mm Armox + 8mm ceramika + 6mm Al	52	794	0	8,0	Silna defragmentacja Al
22	3,5mm Armox + 12mm laminat + guma + 6mm Al	27	794	255	5,0	
14	3,5mm Armox 500T + 3x6mm stal kat A	61	804	143	8,0	
13	3,5 Armox 500T + 2x12mm stal kat A	84	816	0	9,0	nie przebiło
27	St3 6mm + ceramika 8mm + guma + 6mm Al.	44	789	0	9,0	nie przebiło
26	8mm ceramika + guma + cienki laminat +	62	798	139	8,0	



Rys. 3. Wykres prędkości pocisku za próbką w funkcji gr stal Armox 500

Znajomość prędkości pocisku za próbką w stosunku do początkowej umożliwia oszacowanie procentowej energii pochłoniętej przez próbkę.

$$A_2 = 100\% - \frac{v_{za}^2}{v_{przed}^2} \cdot 100 \% \quad (1)$$

dla próbki nr 7, łączna grubość 12 mm

$$A_2 = 100\% - \frac{369^2}{817^2} \cdot 100 \% = 80\%$$

dla próbki nr 8, łączna grubość 15 mm

$$A_2 = 100\% - \frac{92^2}{804^2} \cdot 100 \% = 98,7\%$$

dla próbki nr 7, łączna grubość 16,7 mm

$$A_2 = 100\% - \frac{0^2}{817^2} \cdot 100 \% = 100\%$$

Najlepszą ochronę dla kal. 7,62 mm B32 stanowią próbki złożone z płytek Armox-u grubości powyżej 7 mm. We wszystkich kombinacjach nastąpiło zatrzymanie pocisku. Również zdały egzamin próbki z ceramiką. Sugeruje się, że w tym przypadku ceramika powinna być jako pierwsza w kompozycji pancerza.

Teoretyczna praca wahała przy założeniu, że cała energia pocisku zostanie spożytkowana na jego wychylenie wynosi



$$W_w = \frac{1}{2} \cdot \frac{m^2 \cdot l^2}{I_z} \cdot v_p^2 \quad \cos \varphi_w = 1 - \frac{m^2 \cdot l^2 \cdot v_p^2}{2 I_z \cdot M \cdot g \cdot s} \quad (2)$$

Praca rzeczywista spożytkowana na przemieszczenie środka ciężkości wahadła wynosi

$$W_p = M \cdot g \cdot s \cdot (1 - \cos \varphi_p) \quad (3)$$

Porównując powyższe 2 i 3 otrzymuje się współczynnik procentowy  $A_1$  określający jaką część energii niesionej przez pocisk została spożytkowana na wychylenie wahadła

$$A_1 = \frac{W_p}{W_w} \cdot 100 \% \quad \text{lub} \quad A_1 = \frac{1 - \cos \varphi_p}{1 - \cos \varphi_w} \cdot 100 \% \quad (4)$$

Charakterystyki geometryczne wahadła dla próbek dzielonych z Armox-u 500 są następujące

$$I_z = 24,793 \text{ kg} \quad M = 24,793 \text{ kg} \quad s = 6,52 \text{ m}$$

Na podstawie powyższych równań i danych wyznaczono pracę teoretyczną wahadła oraz współczynniki  $A_1$  i  $A_2$ . Wszystkie wyniki zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Pomierzone i wyliczone parametry przestrzeliwania wielowarstwowych osłon dla pocisku 7,62mm B32

nr próbki	siła na dynam.	prędkość przed próbką	prędkość za próbką	kat wychylenia wahadła	praca teoretyczna	praca rzeczywista	współcz. $A_1$	współcz. $A_2$
7	120	817,0	369,0	8,0	2,158	1,543	71,53	79,60
8	156	803,9	92,1	9,0	2,089	1,952	93,47	98,69
9	156	817,0	0,0	9,0	2,158	1,952	90,49	100,00
10	68	817,0	214,6	9,0	2,158	1,952	90,49	93,10
11	34	809,1	418,4	5,0	2,116	0,603	28,52	73,26
12	64	830,6	281,7	4,0	2,230	0,386	17,32	88,50
15	-19	803,9	0,0	9,0	2,089	1,952	93,47	100,00
21	56	794,9	0,0	9,0	2,042	1,952	95,59	100,00
17	120	787,4	0,0	9,0	2,004	1,952	97,42	100,00
20	38	807,8	0,0	9,0	2,109	1,952	92,57	100,00
24	29	800,6	541,3	5,0	2,072	0,603	29,12	54,30
23	27	796,8	133,8	5,0	2,052	0,603	29,40	97,18
19	69	802,6	184,3	7,0	2,082	1,182	56,77	94,72
25	52	794,3	0,0	8,0	2,039	1,543	75,68	100,00
22	27	793,7	254,8	5,0	2,036	0,603	29,64	89,69
14	61	803,9	142,9	8,0	2,089	1,543	73,89	96,84
13	84	815,7	0,0	9,0	2,150	1,952	90,79	100,00
27	44	788,6	0,0	9,0	2,010	1,952	97,11	100,00
26	62	798,1	138,7	8,0	2,059	1,543	74,96	96,98
28	48	800,6	0,0	9,0	2,072	1,952	94,23	100,00
18	89	806,5	229,9	8,0	2,102	1,543	73,41	91,87
16	86	817,0	0,0	9,0	2,158	1,952	90,49	100,00

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań przestrzeliwania litych i dzielonych próbek badanych materiałów na specjalistycznym stanowisku badawczym WB pociskiem 7,62mm stwierdzono że:

1. Próbkki 2-warstwowe ze stopu aluminium AlZn5Mg2CrZr mają lepszą odporność balistyczną niż 1-warstwowe, wykazują większą maksymalną siłę w tulei (tzn. stawiają pociskowi większy opór) i powodują większe wychylenie wahadła balistycznego (tzn. absorbują większą porcję energii pocisku). Ten efekt częściowo można tłumaczyć mniejszą gęstością badanego stopu aluminium, dzięki czemu udział oporu inercyjnego w całkowitym oporze próbki przy jej przestrzeliwaniu jest znacznie mniejszy niż np. dla stali
2. Stop AlZn5Mg2CrZr ma znacznie gorsze własności balistyczne niż stal kadłubowa kategorii A.
3. Próbkki 2-warstwowe z ww. stali mają gorszą odporność balistyczną niż 1-warstwowe: stawiają pociskowi mniejszy opór i absorbują mniejszą porcję jego energii.
4. Konfiguracja warstw stal-stop (uderzenie pocisku w stal) jest korzystniejsza niż stop-stal.
5. Ceramika Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> o grubości 8 mm w pełni chroni 6 mm grubości blachę stopu AlZn5Mg2CrZr przed przebiciem pociskiem 7,62 mm o energii ok. 3300 J. Warunkiem skutecznej ochrony ceramiki jest jej występowanie jako pierwszej warstwy od strony ostrzału
6. Stal Armox 500 lita (1-warstwowa) o min. grubości 7 mm skutecznie chroni stal kadłubową i stop AlZn5Mg2CrZr
7. Dzielenie stali Armox 500 w tej samej grubości wyraźnie obniża OB. Łączna grubość próbki wielowarstwowej zapewnia skuteczną ochronę dopiero przy g=17mm.
8. Zastosowanie dodatkowych warstw z laminatu i mieszanki gumowej nie zmienia zasadniczo OB stali Armox 500

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] *Materiały z badań i prospekty firmowe: AKZO, DSM-High Performance Fibers B.V, Poliamid ball grade-WB, ARMOX Workshop recommendations and AM ROLLED ARMOUR PLATE*, Internat. Specific. Edition 2/2001
- [2] Jurczak W., Kolenda J.: *Badania odporności udarowej dwuwarstwowych próbek stali kadłubowej i stopu AlZn5Mg2CrZr*. Zesz. Nauk. AMW, 4, 2000.
- [3] Pogodin-Aleksiejew G.I.: *Wytrzymałość dynamiczna i kruchość metali*. WNT, Warszawa, 1969.
- [4] Gooch W.A, Filbey G.L, Senf H., Weidemaier P., Rothenhäusler H.: *Ballistic resistance of laminated steel targets experiments and numerical calculations*. Proc. of 14<sup>th</sup> Int. Symp. Ballistics'93, 26-29 Sept. 1993, Québec, Canada, Vol. 2.
- [5] Almohandes A.A., Abdel-Kader M.S., Eleiche A.M.: *Experimental investigation of the ballistic resistance of steel-fiberglass reinforced polyester laminated plates*. Composites: Part B, 27B, 1996.

- [6] Jurczak W. *Właściwości udarowe wysokowytrzymałego stopu Al-Zn-Mg w aspekcie bezpieczeństwa transportu morskiego*. Czasopismo LOGISTYKA nr.3/2009 str.32 - ISSN1231-1231-5478
- [7] Szturomski B. *Charakterystyki dynamiczne do symulacji numerycznej materiałów stosowanych na osłony antyterrorystyczne na jednostkach pływających*, Raport z pracy badawczej N508 - O/0054/32, AMW/MNiSW 2009r.
- [8] Fila J., i in. : Raporty nr 1 i 2/1994-5/IPBMO/"POWŁOKA"/AMW- KBN, dot. Proj. Celowego nt: *Podwyższenie odporności balistycznej kadłubów i konstrukcji okrętowych*. Gdynia, 1994/95, 1-s. 185 oraz 2-s. 154