

## **WYBRANE RODZAJE NOWYCH OPANCERZEŃ ORAZ OSŁON CHRONIĄCYCH PRZED SKUTKAMI DETONACJI ŁADUNKU WYBUCHOWEGO**

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki prac prowadzonych w WITU w zakresie lekkich opancerzeń pojazdów oraz osłon antywybuchowych. Badania były prowadzone na próbkach materiałów pancernych zgodnie z wytycznymi normy STANAG 4569. Przedstawiono koncepcję zastosowania na lekkie opancerzenia pancernej blachy perforowanej w połączeniu z kompozytem aramidowym. Przeprowadzono badania osłon, min. na bazie materiałów polimerowych, chroniących obiekt przed skutkami detonacji ładunku wybuchowego.

### **1. Wstęp**

Udział jednostek polskich Sił Zbrojnych w działaniach misji pokojowych i stabilizacyjnych wymaga między innymi odpowiedniego, do występujących na danym terenie zagrożeń, zabezpieczenia pojazdów, którymi poruszają się żołnierze i polski personel cywilny, przed skutkami ostrzału oraz detonacji ładunków wybuchowych.

Stąd w WITU podjęto prace nad zaprojektowaniem oraz technologią wykonania systemów opancerzeń, które mogłyby być zastosowane doraźnie w konstrukcji pojazdów opancerzonych, jako dopancerzenia oraz pojazdów z natury nieopancerzonych, jako opancerzenie o cechach modułowych, łatwo demontowalnych.

Głównym założeniem w przeprowadzanych badaniach i pracach technologicznych było opracowanie lekkiego systemu pancernego, który poprzez swoją zdolność do modyfikacji stanowiłby bazę do wykonania pancerzy w 3 i 4 klasie odporności określonych w normie STANAG 4569.

Do szczególnie niebezpiecznych zagrożeń należą niezidentyfikowane ładunki wybuchowe (IED). Dlatego osłony chroniące załogi pojazdów przed skutkami detonacji IED są również ważne. Poza próbą opracowania skutecznych osłon przed tym zagrożeniem podjęto również prace, których celem jest opracowanie „znormalizowanego” ładunku IED, który stanowiłby ekwiwalent zagrożenia rzeczywistego. Ładunek tego typu wykorzystywano by w badaniach osłon antywybuchowych.

Zaprezentowane w artykule rozwiązania osłon są wycinkiem prac prowadzonych w WITU, dotyczących opancerzeń i dopancerzeń pojazdów.

Podjęta współpraca z HUT TRANS KATOWICE oraz z PSO MASKPOL S.A. stwarza warunki do opracowania osłon zgodnie z wymaganiami STANAG 4569.

### **2. Klasy odporności**

Obowiązującym dokumentem, według którego formułowane są wymagania dotyczące odporności balistycznej i antywybuchowej pancerzy pojazdów, jest norma STANAG 4569

wraz z dokumentem AEP 55 precyzującym warunki badań pancerzy w danej klasie odporności. Norma ta obowiązuje we wszystkich krajach zrzeszonych w NATO. W normie określono pięć klas odporności balistycznej opancerzeń pojazdów. Powiązано je również z zagrożeniem pochodzącym od odłamków powstających w wyniku detonacji pocisku artyleryjskiego odpowiedniego kalibru dla danej klasy odporności, o określonym ułożeniu w terenie. Norma precyzuje również kąt ostrzału w elewacji i azymucie, w którym pancerz w danej klasie powinien stanowić skuteczną osłonę. Jak wykazują doświadczenia, najgroźniejszy dla pancerza jest ostrzał w kierunku prostopadłym do jego powierzchni. Stąd poniżej podano wyłącznie wymaganą przez STANAG 4569 kuloodporność.

Klasy kuloodporności pancerzy według STANAG 4569:

- **klasa 1** - 7,62 mm wz.43 PS -  $v_u = 695$  m/s,
- **klasa 2** - 7,62 mm wz.43 BZ -  $v_u = 695$  m/s,
- **klasa 3** - 7,62 mm kb. B-32 -  $v_u = 856$  m/s,
- **klasa 4** - 14,5 mm B-32 -  $v_u = 911$  m/s,

gdzie  $v_u$  jest wymaganą prędkością uderzenia pocisku.

Klasa 5 odporności dotyczy amunicji kal. 25 mm i nie była przedmiotem prac związanych z opracowaniem osłon przed tym zagrożeniem.

Wyjściową informacją służącą porównaniu różnych rodzajów pancerzy w danej klasie odporności jest masa powierzchniowa ( $m_p$ ) pancerza wykonanego ze stali pancerniej. Masy powierzchniowe pancerzy stalowych o odporności w danej klasie wg STANAG 4569 są następujące:

- **klasa 1** -  $m_p = 33,8$  kg/m<sup>2</sup> (grubość 4,7 mm),
- **klasa 2** -  $m_p = 62,8$  kg/m<sup>2</sup> (grubość 8 mm),
- **klasa 3** -  $m_p = 141,3$  kg/m<sup>2</sup> (grubość 18 mm),
- **klasa 4** -  $m_p = 220$  kg/m<sup>2</sup> (grubość 28 mm).

Klasy odporności na detonację ładunku wybuchowego określają maksymalną masę ładunku wybuchowego, która nie powinna spowodować zagrożenia dla załogi pojazdu. Klasy odporności antywybuchowej wg tej normy są następujące:

- **klasa 1** - granat ręczny, mina przeciwpiechotna, i inne,
- **klasa 2** - ładunek wybuchowy o masie 6 kg,
- **klasa 3** - ładunek wybuchowy o masie 8 kg,
- **klasa 4** - ładunek wybuchowy o masie 10 kg

Klasy te określają odporność antywybuchową pojazdu rzeczywistego. W tym przypadku trudno jest podać ekwiwalentne masy powierzchniowe zabezpieczeń, ponieważ ich budowa w dużej mierze zależy od konstrukcji i masy samego pojazdu.

### 3 Pancerze o odporności w klasie 3 wg STANAG 4569

Współczesne rozwiązania materiałowe pancerzy o odporności w klasie 3 wg STANAG 4569 koncentrują się wokół wykorzystania do ich konstrukcji takich materiałów, jak stal pancerna, stopy aluminium, ceramika balistyczna - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, polimerowe kompozyty włókniste na bazie włókien aramidowych. Poniżej przedstawiono niektóre rozwiązania pancerzy warstwowych z zastosowaniem wyżej wymienionych materiałów.

#### 3.1. Modułowy pancerz ceramiczno kompozytowy.

Pancerz modułowy, ceramiczno kompozytowy został opracowany w celu opancerzenia modelu drzwi samochodu Land Rover Defender. Modułowość pancerza wynikała z przyczyn ekonomicznych. W przypadku uszkodzenia jednego z modułów nie zachodzi potrzeba wy-

miany całej płyty pancernej, lecz tylko uszkodzonego elementu. W ramach pracy wykonano dwa układy pancerne. Pierwszy w klasie 2, drugi w klasie 3 wg STANAG 4569.

Kompozyt pancerny stanowił warstwowy układ materiałowy składający się z

- warstwy ceramicznej,
- warstwy kompozytu aramidowego,
- warstwy blachy ze stopu aluminium stanowiącej płytę montażową kompozytu,
- warstwy antyodpryskowej umieszczonej na warstwie ceramicznej każdego segmentu pancerza.

Warstwę ceramiczną tworzył układ płytek o wymiarach 50×50×7 mm. Płytki ceramiczne wykonano z tlenku glinu (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Druga wersja płytek miała te same wymiary a różniła się jedynie grubością, która wynosiła 9 mm.

Właściwości ceramiki, podane przez producenta zamieszczono w tabeli 1 i 2 według protokółów z badań nr 3837 i 3838 z dnia 11.09.2006 r.

**Tabela 1.** Właściwości ceramiki balistycznej do opancerzenia drzwi samochodu LRD – g = 7 mm.

L.p.	Parametr	J.m.	Dop. wartość minimalna	Wartość zmierzona	Norma
1	Zawartość Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	96	>96	
2	Gęstość ( $\rho$ )	g/cm <sup>3</sup>	3,750	3,801	DIN EN 623-2
3	Twardość	kG/mm <sup>2</sup>	1250	1420	DIN EN 843-4
4	Moduł Young'a	GPa	310	340	ASTM-C-1259
5	Prędkość dźwięku	m/s	10 000	10 419	ASTM-E-494
6	Porowatość	%	0	0	DIN EN 632-2
7	Kontrola optyczna			o.k.	
8	Test penetracji	%		o.k.	C=0 ANSP

**Tabela 2.** Właściwości ceramiki balistycznej do opancerzenia drzwi samochodu LRD – g = 9 mm.

L.p.	Parametr	J.m.	Dop. wartość minimalna	Wartość zmierzona	Norma
1	Zawartość Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	96	>96	
2	Gęstość ( $\rho$ )	g/cm <sup>3</sup>	3,750	3,803	DIN EN 623-2
3	Twardość	kG/mm <sup>2</sup>	1250	1493	DIN EN 843-4
4	Moduł Young'a	GPa	310	339	ASTM-C-1259
5	Prędkość dźwięku	m/s	10 000	10 384	ASTM-E-494
6	Porowatość	%	0	0	DIN EN 632-2
7	Kontrola optyczna			o.k.	
8	Test penetracji	%		o.k.	C=0 ANSP

Kompozyt aramidowy był wykonany w procesie gorącego prasowania tkaninowego, aramidowego preimpregnatu jednostronnie powlekanego żywicą epoksydową modyfikowaną poliwinylbutyralem, o masie powierzchniowej 460 g/m<sup>2</sup> w postaci wielowarstwowego układu. Grubość każdej z prasowanych płyt wynosiła 7,8 ±0,2 mm. Masa powierzchniowa kompozytu aramidowego wynosiła 6,9 kg/m<sup>2</sup>.

Z gęstości powierzchniowych materiałów składowych zasadniczego kompozytu pancernego – ceramika + kompozyt aramidowy wynika, że masa powierzchniowa kompozytu ceramiczno aramidowego  $M_{pk}$  wynosi:

$$M_{pk} = M_{pa} + M_{pc}$$

$$M_{pk} = 6,9 + 3,801 \times 7 = 33,51 \text{ kg/m}^2$$

gdzie:  $M_{pa}$  – masa powierzchniowa kompozytu aramidowego,  
 $M_{pc}$  – masa powierzchniowa ceramiki ( $\rho \times g$ )

Płytę montażową pod płyty kompozytu ceramiczno aramidowego stanowiła blacha ze stopu aluminium gatunku PA11 o grubości  $g_{Al} = 4$  mm. Masa powierzchniowa zastosowanej blachy  $M_{pAl}$  wynosi:

$$M_{pAl} = g_{Al} \times \rho_{Al} = 4 \times 2,7 = 10,8 \text{ kg/m}^2$$

Całość pancerza dopełniała warstwa antyodpryskowa w postaci jednej warstwy tkaniny aramidowej o gramaturze  $M_{ptk} = 200 \text{ g/m}^2$ , przyklejonej do powierzchni płytek ceramicznych. Warstwy klejowe stanowiła termoplastyczna folia poliuretanowa o grubości  $g_k = 0,12$  mm oraz gęstości  $\rho_k = 1,16 \text{ g/m}^2$ . Wynika stąd, że masa powierzchniowa warstw klejowych  $M_{pk}$  wynosiła:

$$M_{pk} = g_k \times \rho_k = 0,14 \text{ kg/m}^2$$

Całkowita masa powierzchniowa układu pancernego  $M_{pc}$ , odpornego na przebicie pociskiem kal. 7,62 mm wz.43 BZ wynosiła:

$$M_{pc} = M_{pk} + M_{pAl} + M_{ptk} + M_{pk}$$

$$M_{pc} = 44,65 \text{ kg/m}^2$$

W przypadku drugiego wariantu pancerza o odporności na przebicie pociskiem kal. 7,52 mm kb B – 32 całkowita masa powierzchniowa pancerza wynosiła **52,23 kg/m<sup>2</sup>**.

W celu sprawdzenia odporności balistycznej docelowych układów materiałowych wykonano identyczne próbki odwzorowujące konstrukcyjnie i materiałowo, a także technologicznie rzeczywistą konstrukcję pancerza. Badania przeprowadzono stosując do ostrzału odpowiednio: amunicję kal. 7,62 mm wz. 43 BZ oraz kal. 7,62 mm kb B-32. Wyniki badań były następujące:

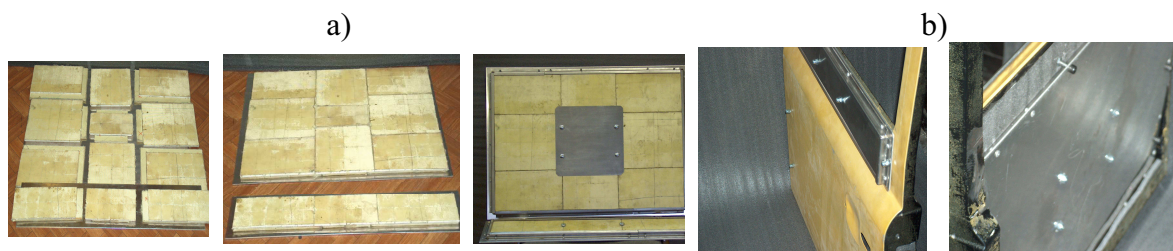
- poc. kal. 7,62 mm wz. 43 BZ – prędkość uderzenia – 746 m/s – brak przebicia – kompozyt z udziałem ceramiki o grubości 7 mm (masa powierzchniowa ceramiki 26,61 kg/m<sup>2</sup>)
- poc. kal. 7,62 mm kb B-32 – prędkość uderzenia – 815 m/s – brak przebicia – kompozyt z udziałem ceramiki o grubości 9 mm (masa powierzchniowa ceramiki 34,23 kg/m<sup>2</sup>).

Na fotografiach zamieszczonych na rys. 1 przedstawiono próbki obydwu rodzajów kompozytów po próbie ostrzału.



**Rys. 1. Próbkki pancerzy po badaniach.**

Konstrukcję modułów składowych pancerza w postaci kompozytów ceramiczno - aramidowych oraz pancerz zamontowany w drzwiach pojazdu przedstawiono na fotografii, na rys. 2.



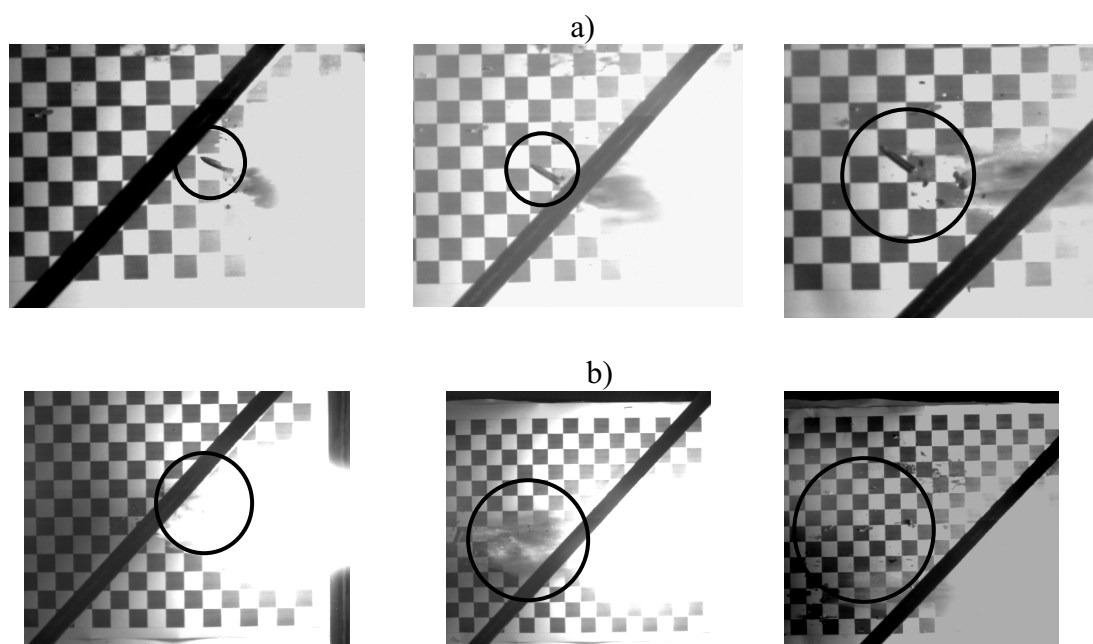
Rys.2. Fot. modułowego pancerza kompozytowego – (a) trzy operacje wykonania, (b) zamontowany pancerz.

### 3.2. Pancerz stalowo – kompozytowy.

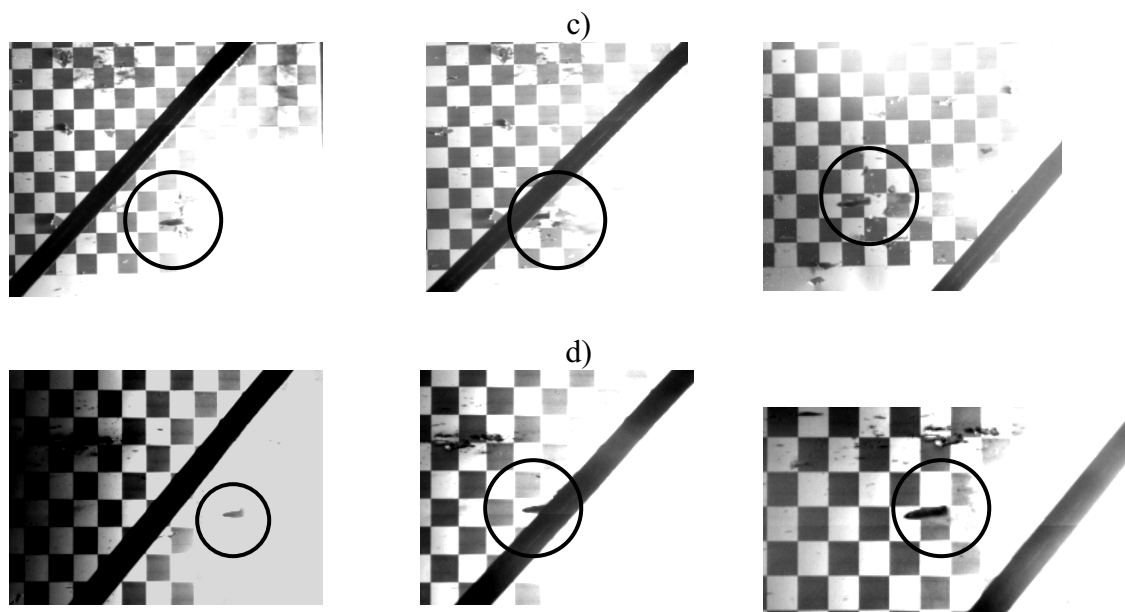
Kolejnym rozwiązaniem konstrukcyjnym pancerza w klasie 3, opracowanym we współpracy z HUT TRAS KATOWICE oraz z PSO MASKPOL S.A., jest pancerz stalowo kompozytowy z warstwą powietrzną. Pancerz składa się z perforowanej blachy stalowej o twardości ok. 580 HB oraz warstwy kompozytu aramidowego umieszczonego za blachą perforowaną w odpowiedniej odległości.

Przy użyciu kamery do zdjęć szybkich zarejestrowano trzy postacie, w których występuje rdzeń pocisku po przebiciu blachy perforowanej. Są to:

- utrata stabilizacji, co w efekcie przenosi się na zwiększenie powierzchni uderzenia rdzenia w warstwę kompozytu (rys.3a),
- fragmentacja rdzenia pocisku (rys. 3b) – efekt najbardziej korzystny,
- brak utraty stabilizacji przy minimalnej utracie prędkości (rys. 3c) – efekt najmniej korzystny.



Rys. 3. Postać pocisku po przebiciu blachy perforowanej: (a) destabilizacja rdzenia, (b) fragmentacja rdzenia,



**Rys. 3. c.d. Postać pocisku po przebiciu blachy perforowanej: (c) brak utraty stabilizacji rdzenia, (d) po przebiciu litej blachy nieperforowanej – brak utraty stabilizacji rdzenia pocisku.**

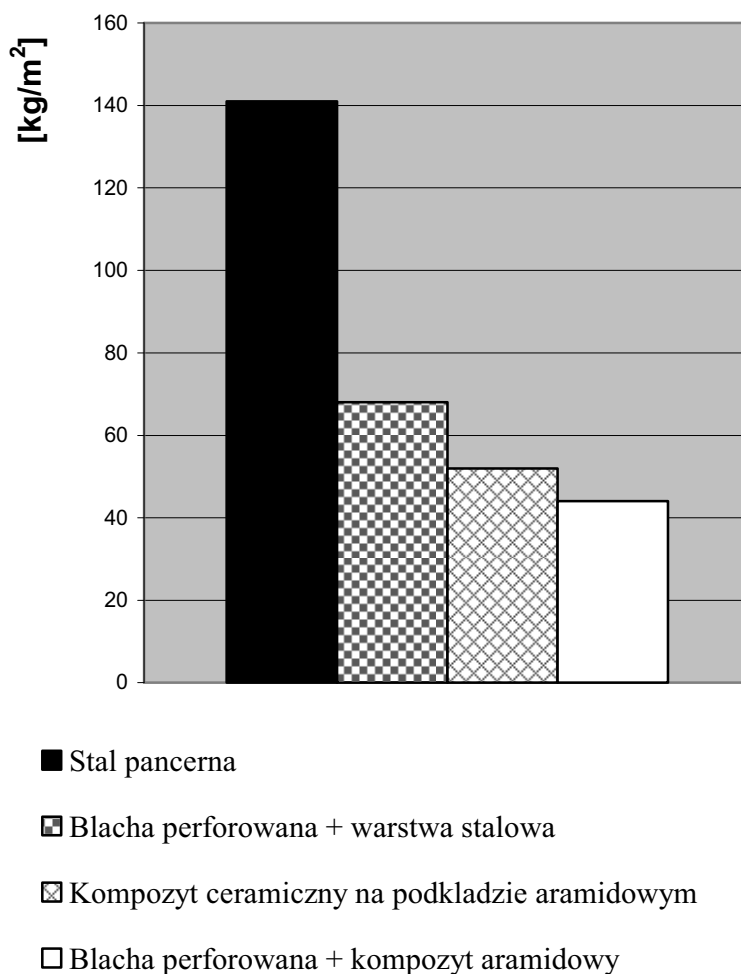
Trzeci przypadek (rys. 3c) jest niekorzystny i odpowiada praktycznie przebiciu litej blachy (rys. 3d). Można go wyeliminować poprzez optymalizację średnicy oraz kształtu otworów perforacji i geometrii ich rozmieszczenia w płycie stalowej. Prace w tym zakresie są w toku. Należy jednak stwierdzić, że przypadek zobrazowany na rys. 3c jest możliwy, lecz stanowi on nie więcej niż kilka procent.

Skojarzenie perforowanej blachy stalowej z kompozytem aramidowym prowadzi do obniżenia masy powierzchniowej pancerza w 3 klasie odporności. Masa powierzchniowa pancerza z wykorzystaniem:

- blachy litej wynosi ok. 140 kg/m<sup>2</sup>/
- blachy perforowanej z drugą warstwą stalową wynosi ok. 68 kg/m<sup>2</sup>,
- pancerza kompozytowego z warstwą ceramiczną Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> wynosi ok. 52 kg/m<sup>2</sup>,
- blachy perforowanej z drugą warstwą kompozytową wynosi ok. 44 kg/m<sup>2</sup>.

W świetle przedstawionych danych, pancierzami wykonanymi w 3 klasie odporności, najbardziej efektywnymi w stosunku do ich masy powierzchniowej, są osłony wykonane w postaci układu pancernej blachy perforowanej i warstwowego kompozytu aramidowego.

Wyniki badań jednoznacznie wskazują, że konstrukcja pancerza o masie powierzchniowej nie większej niż 44,0 kg/m<sup>2</sup> stanowi skuteczną ochronę przed pociskami karabinowymi wz. 43 B – 32. Nad optymalizacją konstrukcji pancerza tego rodzaju trwają prace. Głównym ich celem jest wykonanie pancerza w 3 klasie odporności balistycznej wg STANAG 4569 o masie powierzchniowej nieprzekraczającej 40 kg/m<sup>2</sup>.



Rys. 4. Porównanie mas powierzchniowych różnych rozwiązań pancerzy o odporności w 3 klasie wg STANAG 4569.

### 3.3. Wyniki badań porównawczych odporności balistycznej ceramiki $Al_2O_3$ i SiC w 3 klasie wg STANAG 4569.

W celu porównania odporności balistycznej ceramiki  $Al_2O_3$  i SiC przeprowadzono próby polegające na ostrzale pojedynczych płytek ceramicznych każdego rodzaju na podkładzie ze zwykłej blachy stalowej o grubości 5 mm, mocowanych do niej za pomocą taśmy butylowej. Warunki badań były następujące:

- płytki ceramiczne węgla krzemu (SiC) o wymiarach nominalnych 2,5 x 2,5 cala i grubości 7,5 mm. Gęstość materiału ceramicznego wynosiła  $3,14 \div 3,17 \text{ g/cm}^3$ ,
- płytki ceramiczne tlenku glinu ( $Al_2O_3$ ) o wymiarach – 50 x 50 x 7 mm. Gęstość ceramiki w tym wykonaniu wynosiła  $3,805 \text{ g/cm}^3$ .

Badania miały charakter porównawczy.

Oceny kuloodporności układu ceramika - stal dokonywano ostrzeliwując kolejne próbki pociskami: 7,62 mm wz. 43 PS i BZ oraz 7,62x54 mm kb ŁPS i B-32. W każdym przypadku podłoże stanowił ten sam materiał – zwykła blacha stalowa. Prędkość pocisku mierzona była przy każdym strzale.

Podczas badań dano 11 strzałów do jedenastu zestawów materiałowych. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 3.

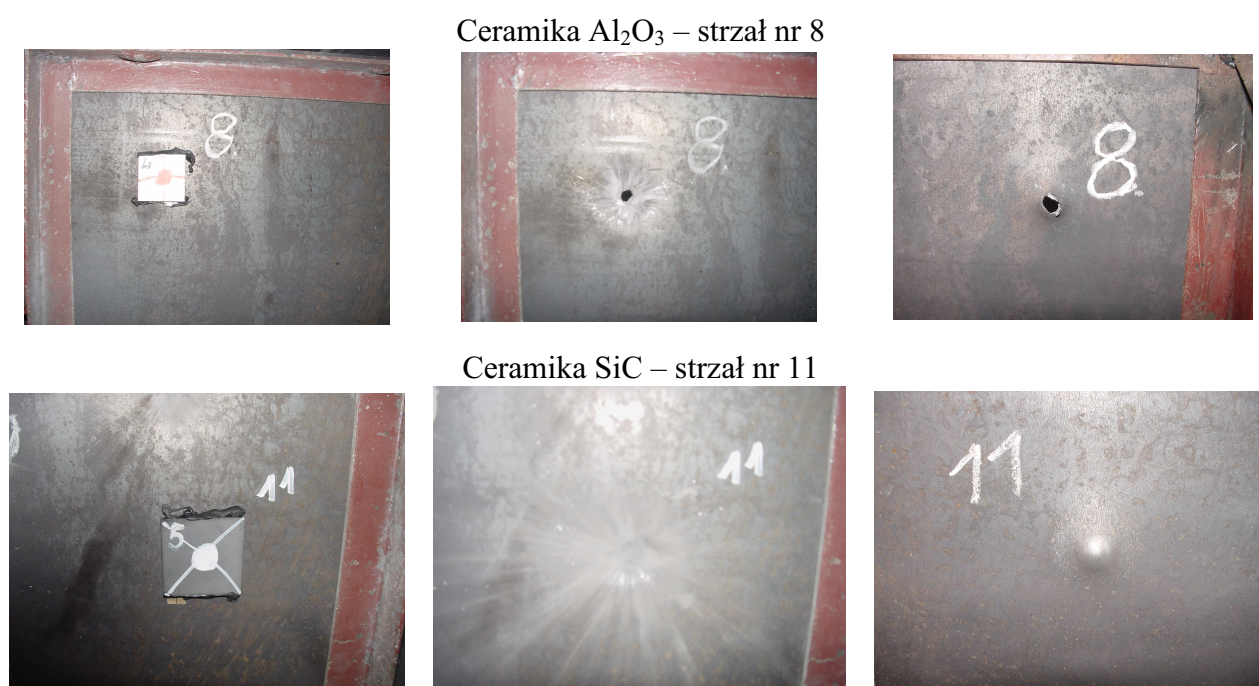
**Tabela 3.** Wyniki badań odporności balistycznej ceramiki SiC oraz porównawczej ceramiki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Nr strzału	Badany układ materiałowy	Rodzaj pocisku	Prędkość pocisku [m/s]	Wynik próby
1	2	3	4	5
1	Stal	7,62 mm wz 43 PS	740,1	-
2	Stal – Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,62 mm wz 43 PS	732,0	+
3	Stal - SiC	7,62 mm wz 43 PS	728,3	+
4	Stal - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,62 mm wz 43 BZ	746,9	+
5t	Stal - SiC	7,62 mm wz 43 BZ	746,0	+
6	Stal - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,62x54 mm ŁPS	870,0	+
7	Stal – SiC	7,62x54 mm ŁPS	874,0	+
8	Stal - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,62x54 mm B-32	833,0	-
9	Stal – SiC 7,62x54 mm B-32 813,2+			
10	Stal - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,62x54 mm B-32	813,2	(+ -)
11	Stal – SiC	7,62x54 mm B-32	819,0	+

**Uwaga:**

- (+) – brak penetracji podłoża stalowego – podłoże odkształcone plastycznie,
- (-) – penetracja całkowita podłoża stalowego,
- (+ -) – pęknięcie podłoża stalowego bez penetracji.

Na rysunku 5 przedstawiono fotografie przykładowych skutków trafienia.



**Rys. 5.** Przykładowe obrazy skutków trafienia pociskiem – opis w tabeli 1.

Zastosowanie ceramiki SiC prowadzi do obniżenia masy powierzchniowej układu pancernego na podkładzie aramidowym o ok. 16 %, tzn., że wynosi ona max. ok. 44 kg/m<sup>2</sup>. Jest ona taka sama jak w przypadku pancerza złożonego z blachy perforowanej i kompozytu aramidowego w tej samej klasie odporności. Jest to jednak pancerz nieporównywalnie droższy.



#### 4. Pancierz kompozytowy – klasa 4 według STANAG 4569

Pancierz dopancerzający blachę pancerną ARMOX o gr. 8 mm do odporności w 4 klasie wg STANAG 4569 wykonano w trzech wersjach:

- wersja 1 – masa powierzchniowa 113,59 kg/m<sup>2</sup>,
- wersja 2 - masa powierzchniowa 135.89 kg/m<sup>2</sup>,
- wersja 3 - masa powierzchniowa 137,89 kg/m<sup>2</sup>.

Konstrukcja układu pancernego w każdej wersji była podobna i różniła się tylko grubością ceramiki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Ceramikę naklejano na podkład w postaci kompozytu aramidowego. Całość kompozytu ceramiczno aramidowego była zalewana chemoutwardzalną kompozycją poliuretanową. Z uwagi na niewielkie wymiary próbki (150 × 150 × 50 mm) do każdej z nich dawano po jednym strzale. Podkład, jak wspomniano na wstępie stanowiła stalowa blacha pancerna ARMOX o gr. 8 mm (pancierz rodzimy KTO ROSOMAK). Ostrzału dokonywano stosując 14,5 mm nb. z poc. B-32. Na fotografiach na rys. 6 przedstawiono wyniki badań. Odległość próbki od wylotu lufy wynosiła 5 m.



Rys. 6. Wyniki ostrzału paneli panczerzy kompozytowych w osłonie poliuretanowej wykonanych w 4 klasie wg STANAG 4569.

Zastosowanie kompozytowego dopancerzenia w przedstawionej postaci wymaga optymalizacji konstrukcji pod względem doboru ceramiki, systemu klejowego oraz polimeru stanowiącego obudowę panczerza. W każdym z rozwiązań masa powierzchniowa dopancerzenia blachy ARMOX o gr. 8 mm była niższa od dopancerzenia stalowego stosowanego w KTO ROSOMAK o 12 % do 27 %. W trzecim przypadku pocisk utkwiał w panczerzu kompozyto-

wym, co oznaczono czerwonym okręgiem. W pozostałych przypadkach pocisk przebił osłonę, lecz nie przebił chronionej blachy pancerniej.

Trwają prace nad układem pancernym o odporności w 3 klasie, z blachą perforowaną.

## 5. Osłony antywybuchowe

Koncepcja wykonania skutecznej osłony „antywybuchowej” zasadzała się na następujących założeniach:

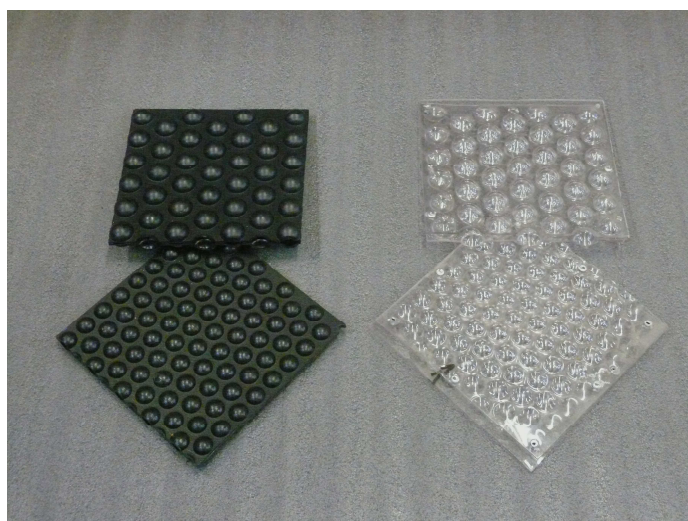
- osłona powinna charakteryzować się zwartą konstrukcją odporną na działanie zewnętrznych czynników klimatycznych i mechanicznych,
- struktura materiału osłony powinna cechować się skokową zmianą właściwości mechanicznych przy jednoczesnym zachowaniu wysokich właściwości w strukturze danej warstwy,
- osłona powinna wykazywać wysokie właściwości mechaniczne w zakresie odkształceń na poziomie min. 500 %.

W tym celu, do wykonania warstwy wewnętrznej, wybrano dwa rodzaje materiału – płytę ABS (kopolimer akrylonitryl – butadien – styren) o grubości 3 mm oraz płytę z poliwęglanu (PC) grubości również 3 mm. Właściwości tych materiałów przedstawiono w tabeli 4.

**Tabela 4.** Właściwości fizyko – mechaniczne ABS i PC.

L.p.	Właściwość	J.m.	ABS	PC
1	Gęstość	g/cm <sup>3</sup>	1,06	1,2
2	Moduł sprężystości przy rozciąganiu	GPa	2,4 ÷ 2,8	6,07
3	Wytrż. na rozciąganie	MPa	49 ÷ 54	65 ÷ 70
4	Wydł. przy zerwaniu	%	13 ÷ 21	>110
5	Udarność	kJ/m <sup>2</sup>	nie pęka	nie pęka
6	Temperatura ugięcia	° C	71 ÷ 95	135 ÷ 140
7	Temperatura mięknięcia wg. Vicata	° C	99 ÷ 116	-

Zarówno ABS jak i PC były przeznaczone do formowania próżniowego. Struktury formowane z ABS i PC przedstawiono na fotografii na rys. 7.



**Rys. 7.** Struktury uzyskane z próżniowo formowanych płyt ABS (kolor czarny) i PC.

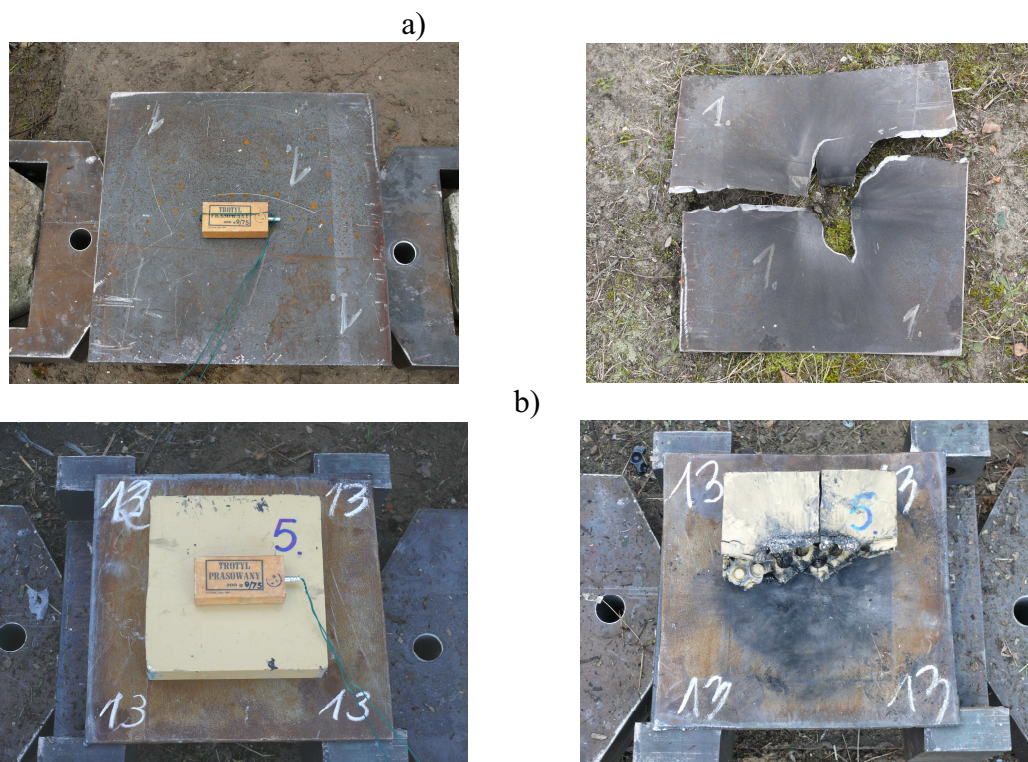
Warstwa powietrzna została „uformowana”, jako regularna struktura w postaci sferycznie ukształtowanych wyprasek. Wypraski były łączone klejem epoksydowym oraz za pomocą nitów aluminiowych. Wymiary nominalne osłony wynosiły – 220 x 220 x 50 mm. Widok osłony przedstawiono na rys. 8.



**Rys. 8. Panel osłonowy chroniący przed skutkami detonacji.**

Badania skuteczności wykonanych osłon polimerowych przeprowadzono w warunkach poligonowych stosując, jako chroniony obiekt pancerną blachę stalową ARMOX o grubości 8 mm. Blacha ta jest obecnie stosowana do wykonania kadłuba KTO ROSOMAK oraz podwozia samochodu TUR produkcji AMZ KUTNO.

Przykładowe działanie osłony przedstawiono na fotografiach, na rys.9.



**Rys. 9. Efekt działania ładunku wybuchowego masie 200 g TNT, a) blacha pancerna ARMOX o gr. 8 mm bez osłony, b) z osłoną.**

W ramach pracy wykonano szereg osłon o tych samych wymiarach. Masa powierzchniowa osłon polimerowych wynosiła od 41 do 48 kg/m<sup>2</sup>. Obecnie stosowane osłony wykonane są z aluminium i ich masa powierzchniowa wynosi 54 kg/m<sup>2</sup>. Ugięcia blachy chronionej po wybuchu, z zastosowaniem osłony wynosiły od 45 do 50 mm. W żadnym z badanych przypadków nie zanotowano penetracji blachy pancernej. Dzięki komórkowej strukturze wewnętrznej osłony posiadają cechę pływalności w wodzie, co może mieć znaczenie w pojazdach, od których wymagana jest taka właściwość.

## 5. Wnioski

1. Przedstawione w artykule rozwiązania układów pancernych w zastosowaniach na opancerzenia i dopancerzenia pojazdów mogą stanowić alternatywę dla tradycyjnych opancerzeń stalowych.
2. W scharakteryzowanych układach pancernych najniższą masą powierzchniową charakteryzuje się pancierz ze szczeliną powietrzną pomiędzy pancerną blachą perforowaną a aramidową płytą kompozytową.
3. Wyniki wstępnych prac nad osłonami antywybuchowymi w zastosowaniach do pojazdów wykazały ich skuteczność w skali laboratoryjnej.
4. Wobec udowodnionej skali ograniczeń masowych opancerzeń tradycyjnych (stalowych litych) widzi się celowość kontynuacji, rozwoju i sprawnej aplikacji proponowanych i zbadanych rozwiązań opancerzeń kompozytowych.
5. W celu osiągnięcia zamierzonego efektu w postaci niezawodnego systemu osłonowego pojazdu, wymagane jest przeprowadzenie badań na docelowym obiekcie lub jego modelu rzeczywistym zgodnie z wymaganiami stawianymi przez normę STANAG 4569 oraz dokumentem AEP 55.
6. Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia jest przygotowany do podjęcia prac nad opracowaniem, badaniami i aplikacjami rozwiązań konstrukcyjno - technologicznych zabezpieczeń balistycznych do wyznaczonego sprzętu.

## SOME NEW TYPES OF ADD-ON ARMOURS AND SCREENS PROTECTING AGAINST BLASTS

**Abstract:** Some results of work carried out in the Military Institute of Armament Technology on the light add-on armours and anti-blast screens for vehicles are presented in the paper. Tests were carried out on the samples of armoured materials according to STANAG 4569. A concept is presented to use the perforated armour sheet combined with the aramide composite to get the light add-on armours. Tests of screens, made from polymer materials, were carried out to check protection against blasts.