

BADANIA ODPORNOŚCI WYBRANYCH UKŁADÓW MATERIAŁOWYCH NA DZIAŁANIE ŁADUNKU WYBUCHOWEGO

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań układów materiałowych o odporności na detonację ładunku wybuchowego na 1 poziomie wg normy STANAG 4569 ANNEX B oraz na poziomie 1⁺ w stosunku do wymagań tej normy. Układy materiałowe oparto na kompozytach aramidowych płaskich i przestrzennie formowanych oraz utwardzalnych kompozycjach z elastomeru poliuretanowego w postaci monolitycznej i z warstwą strukturalnej dylatacji powietrznej.

TESTS ON RESISTANCE OF SELECTED MATERIAL SYSTEMS TO ACTION OF EXPLOSIVE CHARGE

Abstract: In this paper, results from tests of material systems on explosive charge detonation resistance at the level 1 due to ANNEX B of Standardisation Agreement 4569 (STANAG 4569) and – detonation resistance at the level 1⁺ according to the requirements given in this STANAG, are presented. The material systems were based on aramid composites – flat and spatially formed, and on hardened compositions made of polyurethane elastomers being in monolith state and with the layer of structural air dilatation.

1. Wstęp

Zabezpieczenie pojazdów przed skutkami detonacji ładunku wybuchowego jest obecnie jednym z najważniejszych problemów do rozwiązania w kontekście zagrożeń występujących na terenie działania polskich misji wojskowych. Dotyczy to zarówno transporterów opancerzonych, jak i lekkich pojazdów spełniających funkcje logistyczne. Pomimo rozwoju środków rozpoznania terenu, na którym może występować zagrożenie pochodzące od szeroko pojętych materiałów wybuchowych takich, jak miny oraz IED ostateczną ochronę przed tym zagrożeniem zawsze stanowi autonomiczna osłona. Wymagane poziomy odporności pojazdów wyposażonych w te osłony są scharakteryzowane w porozumieniu normalizacyjnym STANAG 4569 [1].

Wyniki testów układów materiałowych będących przedmiotem badań odpowiadają zagrożeniu sformułowanemu w normie STANAG 4569 dla pierwszego poziomu odporności. Norma ta przewiduje w aneksie B, że na pierwszym poziomie odporności osłona powinna skutecznie zabezpieczać podłogę pojazdu na całej powierzchni przed skutkami detonacji min przeciwpiechotnych, ręcznych granatów itp., czyli ładunku wybuchowego o masie wynoszącej od 100 do 150 g. Druga klasa stanowi natomiast o odporności pojazdu na detonację ładunku wybuchowego o masie 6 kg w postaci miny przeciwczołgowej. Pomędzy tymi poziomami odporności nie ma wartości pośrednich. Stąd, w badaniach również określano odporność osłon na ładunki TNT od 200 do 500 g, czego nie przewiduje STANAG 4569, i co dało-

by pogląd na możliwości uzyskania układów materiałowych odpornych na zagrożenia na poziomie 1⁺.

Układy materiałowe poddane ocenie podczas prób nie były przeznaczone do konkretnego typu pojazdu, ale w założeniach powinny stanowić osłonę antywybuchową dla pojazdów osobowo – terenowych oraz zabezpieczenia logistycznego. Materiałem porównawczym była pancerna blacha stalowa, dla której starano się znaleźć alternatywne rozwiązanie pod względem odporności przy jednocześnie niższej masie powierzchniowej układu.

2. Materiały do badań i stanowisko badawcze



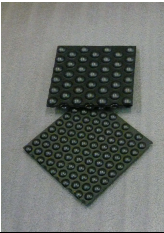
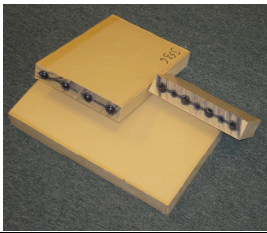
Materiały stosowane w do budowy układów materiałowych zostały wyselekcjonowane spośród stosowanych w budowie osłon balistycznych – kuloodpornych, odłamkoodpornych i antyrykoszetowych. Poza płaskimi płytami stosowanymi tradycyjnie w osłonach balistycznych, do budowy osłon antywybuchowych zastosowano również przestrzenne struktury, których zadaniem było bardziej skuteczne pochłanianie energii fali detonacji poprzez strukturalne wprowadzenie dylatacji powietrznej. Jednocześnie materiał osłony miał za zadanie skuteczne zabezpieczenie przed działaniem odłamków. Funkcję symulującą chroniony obiekt spełniała blacha stalowa w gatunku DC-1, która stosowana jest na poszycia podłogi lekkich pojazdów osobowo – terenowych. Skutki detonacji były każdorazowo rejestrowane na płycie „świadek” wykonanej z blachy 2024 T3 zalecanej przez normę STANAG 4569. W tabeli 1 scharakteryzowano materiały stosowane do konstrukcji układów materiałowych pod względem właściwości użytkowych.

Tabela 1. Materiały stosowane do konstrukcji układów materiałowych

L.p.	RODZAJ MATERIAŁU	OZNACZENIE	MASA POWIERZCHNIOWA [kg/m ²]	GRUBOŚĆ [mm]	PRZEZNACZENIE MATERIAŁU
1	2	3	4	5	6
1	Stal DC-1	DC-1	12,0	1,5	MATERIAŁ CHRONIONY
2	Stal pancerna 30PM	30PM	32,0	4,0	
3	Stal pancerna MII-LUX	MLX _{6,5}	52,0	6,5	
4	Stal pancerna MII-LUX	MLX ₄	32,0	4,0	
5	Stal pancerna MII-LUX - perforowana	MLX _{4P}	26,5	4,0	
6	Płyty PU z wkładką przestrzenną	PU _P	41,0	45,0	
7	Płyty faliste - kompozyt aramidowy	AR _F	6,2	(17,0)*	
8	Płyty płaskie – kompozyt aramidowy	AR _{P10}	4,6	10w – 4,0	
		AR _{P15}	6,9	15w – 6,0	
		AR _{P20}	9,2	20w – 8,0	
9	Lite płyty PU wersja A	PU _{15-A}	14,4	15,0	
		PU _{20-A}	19,6	20,0	
10	Lite płyty PU wersja B	PU _{10-B}	10,4	10,0	
11		PU _{15-B}	15,2	15,0	
12		PU _{20-B}	20,8	20,0	

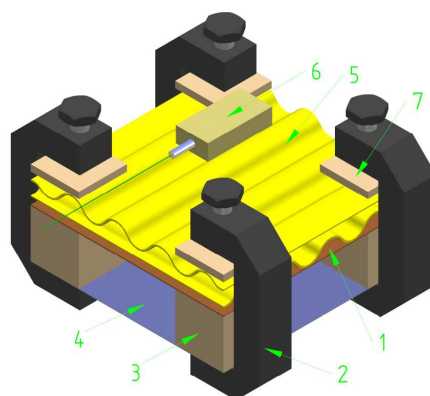
(*) – grubość odnosi się do podwójnej amplitudy sinusoidalnego kształtu powierzchni płyty

Budowę struktur przestrzennych przedstawiono na rys.1. Przestrzenna struktura poliuretanowa, oznaczona PU_P , przestrzenna struktura z kompozytu aramidowego AR_F .

PU_P		AR_F	
(a)	(b)		
		Przestrzenna struktura z kompozytu aramidowego	
(a) przestrzenna struktura z tworzywa ABS (b) płyta z elastomeru poliuretanowego z wkładką (a)			

Rys. 1 Przestrzenne struktury materiałowe zastosowane w badanych układach materiałowych

Głównym celem badań było osiągnięcie konfiguracji materiałowej, która charakteryzowałaby się najniższą masą powierzchniową przy zachowaniu odporności antywybuchowej na wymaganym poziomie. Stanowisko badawcze zostało przedstawiono schematycznie na rys. 2.



Rys. 2. Stanowisko badawcze osłon antywybuchowych: (1) blacha stalowa DC-1, (2) stalowe klemy mocujące, (3) drewniane elementy dystansowe, (4) płyta „świadek”, (5) badana struktura materiałowa, (6) ładunek wybuchowy, (7) elementy dystansowe.

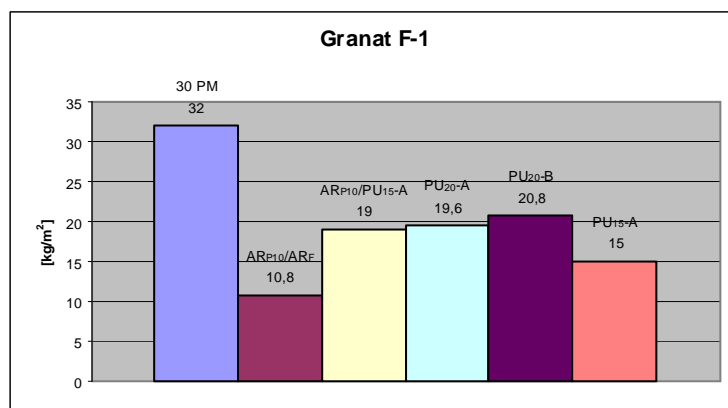
Stałym parametrem w badaniach osłon była odległość materiału wybuchowego lub granatu F-1 od powierzchni osłony i wynosiła ona 50 mm. Układy materiałowe konfigurowano w każdym przypadku ze stalą DC-1 symulującą poszycie podłogi pojazdu.

3. Wyniki Badań

W pierwszym etapie badano układy materiałowe o przewidywanej odporności na pierwszym poziomie wg STANAG 4569. Materiałem porównawczym była stalowa blacha pancerna w gatunku 30 PM, o masie powierzchniowej 32 kg/m^2 (grubość 4 mm). Blacha ta była w pełni odporna na działanie odłamków zdetonowanego granatu F-1. Każdy z układów występował w konfiguracji ze zwykłą blachą stalową w gatunku DC-1, z której wykonuje się podłogi samochodów. Skutki detonacji były rejestrowane przez płytę „świadek” wykonaną z blachy 2024 T3 o grubości 0,5 mm, zalecanej przez normę STANAG 4569.


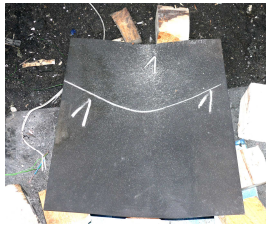
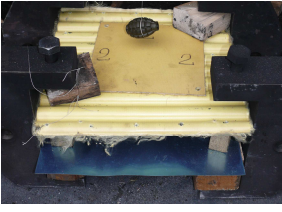



Wyniki badań przedstawiono w postaci wykresu słupkowego – rys 3, który przedstawia porównanie mas powierzchniowych badanych układów materiałowych spełniających wymagania pierwszego poziomu odporności antywybuchowej wg STANAG 4569. Każdy z ukła-







dów materiałowych przedstawionych na wykresie został zobrazowany w postaci fotografii z badań i krótko scharakteryzowany.



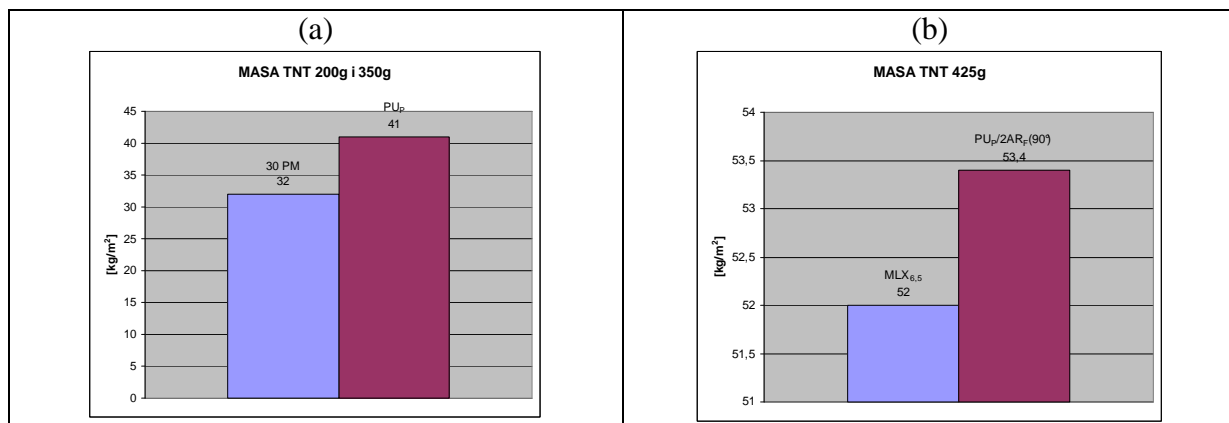
Rys. 3 Porównanie mas powierzchniowych układów materiałowych o ekwiwalentnej odporności na detonację granatu F-1.

Tabela 2 Wizualizacja wyników badań odporności układów materiałowych na detonację granatu F-1.

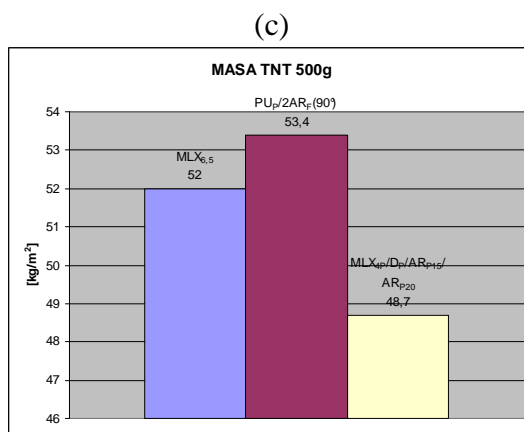
Materiał	Przed detonacją	Po detonacji
1	2	3
30 PM grubość 4mm		
Badaniom poddano pancerną blachę stalową o grubości 4 mm. Blacha wykazała pełną odporność na detonację granatu F-1. Odporność tego materiału stanowiła punkt odniesienia do badania innych układów materiałowych.		
AR _{P10} /AR _F grubość 21 mm		
Zwykła blacha stalowa DC-1 grubości 1,5 mm została ochroniona przez układ materiałowy złożony z przestrzennej struktury. Układ symulował zabezpieczenie zewnętrzne podłogi pojazdu.		
AR _{P10} /PU _{15A} grubość 25 mm		
Układ wykazał pełną odporność na detonację granatu F-1. Na stalowej płycie nie zaobserwowano śladów działania odłamków. Układ symulował zabezpieczenie wewnętrzne podłogi pojazdu.		



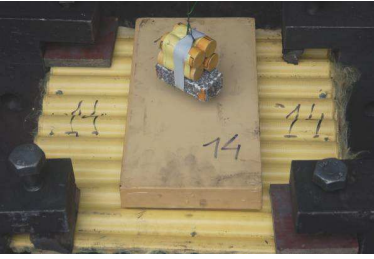



1	2	3
<p>PU₂₀A grubość 20 mm</p>		
<p>Płyta poliuretanowa w układzie ze zwykłą blachą DC-1 o grubości 1,5 mm stanowi skuteczne zabezpieczenie przed detonacją granatu F-1. Płyta stalowa stanowiła podwójny ekwiwalent masowy naturalnej blachy poszycia podłogi samochodu. Na płycie świadku nie stwierdzono przebieg spowodowanych odłamkami. Układ symulował zabezpieczenie zewnętrzne podłogi pojazdu.</p>		
<p>PU₂₀B grubość 20 mm</p>		
<p>Układ odporny na detonację granatu F-1. Układ symulował montaż płyty poliuretanowej typu B wewnątrz pojazdu.</p>		
<p>PU₁₅A grubość 15 mm</p>		
<p>Układ wykazał odporność na badane zagrożenie. Układ symulował zabezpieczenie wewnętrzne podłogi pojazdu.</p>		

W drugim etapie przeprowadzono badania układów materiałowych na poziomie odporności 1⁺ w stosunku do wymagań zawartych w normie STANAG 4569 dla poziomu pierwszego. Celem badań była ocena możliwości zastosowania w konstrukcji osłon antywybuchowych, odpornych na wyższe zagrożenia niż 1 poziom wg STANAG 4569, lekkich układów materiałowych złożonych z kompozytów włóknistych na bazie włókien aramidowych oraz elastomerów – w ogólnym pojęciu niepancernych struktur polimerowych. Do badań zastosowano ładunki o masie 350, 425 i 500 g. W każdym przypadku za materiał porównawczy służyła pancerna blacha stalowa o grubości 4 mm dla ładunku 325 g i 6,5 mm dla ładunku 425 i 500 g. Blacha o grubości 4 mm nie była odporna na detonację ładunku o masie 425 g. Na rys. 4a, b i 4c przedstawiono tylko te układy materiałowe, które przy bliskiej lub niższej od blachy wzorcowej masie powierzchniowej wykazały wymaganą odporność.



Material	Przed detonacją	Po detonacji	Material	Przed detonacją	Po detonacji
1	2	3	1	2	3
30PM grubość 4 mm			MLX _{6,5} Grubość 6,5 mm		
<p>Badana blacha stalowa wykazała pełną odporność na skutki detonacji ładunku o masie 350 TNT. Zarejestrowano duże odkształcenie blachy. Świadczy to o wysokich właściwościach mechanicznych i wysokiej plastyczności blachy podczas dynamicznych odkształceń.</p>			<p>Pancerna blacha stalowa o grubości 6,5 mm wykazuje pełną odporność na detonację ładunku wybuchowego o się 425 g TNT z odległości 50 mm. Ugięcie plastyczne blachy ok. 30 mm.</p>		
PU _p grubość 46,5 mm			PU _p /2AR _F (90°) grubość 79 mm		
<p>Podczas tej próby oceniano skutki oddziaływania fali detonacyjnej zarówno na osłonę poliuretanową, jak i na chroniony przez nią materiał w postaci blachy DC-1. Próba wykazała pełną zdolność ochrony podłoża ze zwykłej blachy stalowej o grubości 1,5 mm.</p>			<p>Masa powierzchniowa badanego układu materiałowego jest prawie równa stali pancanej. Układ ten wykazuje duży „zapas” odporności. Druga warstwa AR_F nie została naruszona</p>		



Materiał 1	Przed detonacją 2	Po detonacji 3
<p>MLX_{6,5} grubość 6,5 mm</p>		
<p>Badana blacha pancerna wykazała pełną odporność na detonację 500 g TNT. Ugięcie blachy było minimalne i wynosiło ok. 20 mm.</p>		
<p>PU_P/2AR_F90° grubość 79 mm</p>		
<p>Układ został poddany badaniom odporności przy użyciu ładunku z odłamkami symulującymi odłamki granatu. Układ wykazał pełną odporność na to zagrożenie.</p>		
<p>MLX_{4P}/D_P[*]/AR_{P15}/AR_{P20} grubość 30 mm</p>		
<p>Badany układ materiałowy wykazał pełną odporność na detonację ładunku o masie 500 g TNT. Jednocześnie stanowi on odpowiednik stali pancernej o grubości 6,0 mm. (*) D_P – dylatacja powietrzna 2 cm</p>		

Rys. 4 Porównanie mas powierzchniowych układów materiałowych o ekwiwalentnej odporności na detonację ładunku wybuchowego na poziomie 1⁺ w stosunku do wymagań dla 1 poziomu zagrożień wg normy Stanag 4569 – (a) – 350 g TNT, (b) 425 g TNT oraz (c) 500 g TNT.

4. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że na 1 poziomie odporności antywybuchowej osłon wg STANAG 4569 istnieje wiele rozwiązań układów materiałowych, które spełniają to wymaganie. Ich masa powierzchniowa stanowi ekwiwalent pancernej blachy stalowej o grubości od 1,4 do 2,6 mm. Na tym poziomie odporności najniższą masą powierzchniową – 10,8 kg/m² charakteryzował się układ płyt kompozytowych wzmocnianych włóknem aramidowym o grubości 21 mm. Niewiele wyższą masę powierzchniową miała płyta wykonana z elastomeru poliuretanowego i wynosiła 15 kg/m² przy grubości 15 mm. Z technologicznego i ekonomicznego punktu widzenia jest to najlepsze rozwiązanie materiałowe spośród badanych osłon. Elastomer poliuretanowy jest tzw. materiałem „niepancernym”. Jest łatwy w przetworstwie i daje możliwość „szczelnego” wykonania osłony na pojeździe.

Inaczej przedstawia się odporność osłon antywybuchowych na poziomie 1⁺ w stosunku do wymagań dla 1 poziomu wg normy STANAG 4569. W tym przypadku nie uzyskano tak wyraźnej efektywności masowej, jak w przypadku osłon na 1 poziomie. W większości przypadków masa powierzchniowa kompozycji materiałowych była nieznacznie wyższa od wzorcowej stali pancernej. W jednym przypadku uzyskano niższą masę powierzchniową dla układu materiałowego od stali wzorcowej. W każdym jednak przypadku stopień skomplikowania struktury układu materiałowego oraz jego grubość w stosunku do monolitycznej, wzorcowej blachy pancernej były zdecydowanie wyższe.

5. Wnioski

W świetle wyników przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Do wykonania skutecznych osłon antywybuchowych samochodów, na 1 poziomie odporności wg normy STANAG 4569 ANNEX B, możliwe jest zastosowanie lekkich, kompozytowych układów materiałowych lub monolitycznych elastomerów poliuretanowych.
2. Zastosowanie elastomerów poliuretanowych na osłony antywybuchowe na 1 poziomie odporności prowadzi do uproszczenia technologii, konstrukcji i montażu osłon na pojeździe dzięki łatwości kształtowania, łączenia z poszyciem oraz minimalizacji kosztów.
3. Uzyskanie wymaganej odporności balistycznej na poziomie 1⁺ w stosunku do wymagań normy STANAG 4569 ANNEX B przy zastosowaniu struktur elastomerowych i kompozytów na bazie włókien aramidowych jest możliwe lecz prowadzi do skomplikowania konstrukcji oraz wzrostu grubości osłony w stosunku do stali pancernej o ekwiwalentnej odporności i masie powierzchniowej.
4. O ile bezpośrednio wykorzystanie w konstrukcji osłon antywybuchowych o wyższej niż 1 poziom odporności elastomerowych struktur litych i przestrzennych, jako głównej warstwy ochronnej może budzić wątpliwości, o tyle materiały te wykazują cechy, które mogą być przydatne w konstrukcji warstw (linerów) chroniących, załogę pojazdu przed odłamkami, które mogą pochodzić z zasadniczej, stalowej warstwy osłonowej i/lub ładunku.
5. Dylatacja powietrzna w strukturze osłony w postaci warstwy - kompozycja MLX_{4P}/D_P/AR_{P15}/AR_{P20} lub w postaci strukturalnej – kompozycja PU_P, prowadzi do podniesienia skuteczności zabezpieczenia.

Literatura

- [1] Floor protection levels for logistic and light armoured vehicle occupants for grenade and blast mine threats. Annex B to STANAG 4569 (edition 1)