



## Badania przebijalności wielowarstwowych przegród metalowych\*

Zdzisław BOGDANOWICZ<sup>1</sup>, Jacek BOŻEJKO<sup>2</sup>,  
Andrzej KLIMPEL<sup>3</sup>, Wojciech KOPERSKI<sup>2</sup>, Zbigniew SURMA<sup>2</sup>,  
Łukasz SZMIT<sup>2</sup>, Ryszard WOŹNIAK<sup>2</sup>

- <sup>1</sup> *Katedra Budowy Maszyn, Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna,*  
<sup>2</sup> *Instytut Techniki Uzbrojenia, Wydział Mechatroniki Wojskowa Akademia Techniczna,*  
*ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa,*  
<sup>3</sup> *Katedra Spawalnictwa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska,*  
*ul. Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki niektórych badań odporności płyt wykonanych różnymi technologiami na przebicie pociskami naboju: karabinowego 7,62x54R mm Mosin i wielkokalibrowego 12,7x99 mm Browning. Najwyższą odporność balistyczną na oddziaływanie pocisków naboju 7,62x54R mm (III poziom według STANAG-u) wykazały płyty napawane warstwą P-CNi-AlNiAl, natomiast najlepsze rezultaty na oddziaływanie pocisków naboju 12,7x99 mm uzyskano dla napoin nanostrukturalnych. Badania te przeprowadzono w Instytucie Techniki Uzbrojenia Wojskowej Akademii Technicznej w ramach projektu rozwojowego PBR/15-022/2009/WAT pt. „Natryskiwanie łukowe i płomieniowe HVOF oraz napawanie GMA i laserowe nanostrukturalnych, kompozytowych i gradientowych warstw wierzchnich o wysokiej odporności balistycznej modułów ochronnych pancerza”.

**Słowa kluczowe:** mechanika, osłony balistyczne, napawanie, natryskiwanie

\* Artykuł był prezentowany na VIII Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”, Pułtusk, 6-8 października 2010 r.

## 1. WSTĘP

Podstawowym celem badań strzelaniem do płyt (wykonanych różnymi technologiami) było dokonanie analizy i oceny ich odporności (przebijalności) na oddziaływanie pocisków: przeciwpancerno-zapalającego B-32 naboju karabinowego 7,62x54R mm Mosin oraz zwykłego M33 wielkokalibrowego naboju karabinowego 12,7x99 mm Browning. Na podstawie sformułowanych wniosków możliwe będzie wytyczenie kierunków dalszych prac nad zwiększeniem odporności pancerzy wykorzystujących te technologie wykonania.

## 2. BADANIA ODPORNOŚCI PŁYT NA PRZEBICIE POCISKIEM NABOJU KARABINOWEGO 7,62x54R MM MOSIN

### 2.1. Stanowisko badawcze i amunicja do badań

Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym przedstawionym na fot. 1, składającym się z: podstawy z zamocowanym 7,62 mm karabinem powtarzalnym Mosin wz. 1891/1930, dwuczęściowego kulochwytu oraz stelaża z zamocowaną próbką i płytą-świadkiem. Płytę-świadka umieszczano na końcu stelaża, aby uzyskać informację o wpływie oddziaływania materiału próbki na pocisk (niszczenie rdzenia lub ewentualny brak jego uszkodzeń) oraz o wielkości energii kinetycznej, jaką pocisk dysponował po przebiciu próbki. Podczas strzału odległość wylotu lufy od próbki wynosiła 750 mm [1].



Fot. 1. Stanowisko badawcze z 7,62 mm karabinem powtarzalnym Mosin wz. 1891/1930 i dwuczęściowym kulochwytem (z lewej strony) oraz stelaż z zamocowaną próbką i płytą-świadkiem (w środku) przygotowany do umieszczenia w kulochwycie (z prawej strony)

Photo 1. Laboratory stand with the 7,62 mm Mosin rifle Model 1891/1930, two-piece butt collector (left) and a frame with the specimen and witness plate (center) ready to set into the target butts (right)

Do strzelania stosowano 7,62x54R mm naboje karabinowe Mosin z pociskiem przeciwpancerno-zapalającym B-32 (masa pocisku  $m_p = 10,4$  g, masa prochowego ładunku miotającego  $q = 3,2$  g, prędkość początkowa pocisku  $V_0 = 854$  m/s, energia początkowa pocisku  $E_0 = 3\,792$  J).

## 2.2. Obiekt badań

Obiektem badań były płyty o wymiarach 300x300 mm, wykonane różnymi technologiami, których charakterystyki przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka obiektów badań

Table 1. Characteristic of the tested objects

Numer próbki	Grubość płyty stalowej S235 (mm)	Technologia wykonania
0	8	ArmoX 500
2, 3, 4, 7, 8	5	Napawanie GMA drutem proszkowym nanometalicznym Castolin DO390N na płytach ze stali S235. Warstwa wierzchnia natryskiwana łukowo drutem Al-Ni i drutem Al Tafa 01T.
5, 6	5	Napawanie GMA drutem proszkowym nanometalicznym Castolin DO390N i drutami ceramicznymi Castolin DO 48 i Castolin DO 11 na płytach ze stali S235.
9, 10, 11, 15, 16, 17, 18, 24, 25	4	Natryskiwanie płomieniowe z przetapianiem drutem nanometalicznym DO 390N i drutami cermetalowymi DO11 i DO48 na płytach ze stali S235.
21, 22	5	Napawanie GMA drutem proszkowym nanometalicznym Castolin DO390N na płytach ze stali S235. Warstwa wierzchnia natryskiwana płomieniowo poliamidem Castoplast 31200.
1, 13, 14	4	Natryskiwanie płomieniowe palnikiem SPII drutem proszkowym nanometalicznym super hard steel FST W-685.1 i drutem Corodur 250K na płytach ze stali S235.
12, 19, 20, 23	4	Natryskiwanie łukowe drutem proszkowym nanometalicznym super hard steel-FST W-685.1 i drutem Corodur 250K.

### 2.3. Wyniki badań

Badaniom na przebicie pociskiem naboju karabinowego 7,62x54R mm Mosin poddano 26 płyt, przy czym do dwóch z nich strzelano dwukrotnie, gdyż pierwszy strzał nie spowodował przebicia płyty. Wyniki badań odporności płyt przedstawiono w tab. 2, a niektóre z nich uwidoczniiono na fot. 2-9.

Tabela 2. Wyniki badań płyt na oddziaływanie pociskiem naboju 7,62x54R mm Mosin

Table 2. Results of the plate's interaction with the projectile of 7,62x54R mm Mosin cartridge

Oznaczenia Wojskowej Akademii Technicznej	Oznaczenia Katedry Spawalnictwa Politechniki Śląskiej	Uwagi
1	2	3
0 – blacha ArmoX 500 grubość 8 mm (fot. 2)	Bez oznaczenia	Przebicie płyty (próbki). Lekkie uszkodzenie płyty-świadka odłamkami pocisku, bez przebicia
1	1P-FST	Przebicie próbki i płyty-świadka
2 (fot. 3)	15G-P-CNi-AlNiAl	Brak przebicia próbki i uszkodzenia płyty-świadka, brak odprysków po dwóch strzałach, najwyższa odporność balistyczna
3 (fot. 4)	17G-P-N-18-8	Przebicie próbki z zatrzymaniem pocisku, płyta-świadek nie uszkodzona odpryskami
4 (fot. 5)	16G-P-N-CNi	Brak przebicia próbki, ale powstały pęknięcia napawanej warstwy, płyta- świadek nieuszkodzona, po drugim strzale brak przebicia, ale powstały odpryski napawanej warstwy
5	13G-CNi	Przebicie próbki i płyty-świadka
6	18G-P-N-18-8	Przebicie próbki i płyty-świadka
7 (fot. 6)	12G-N-AlNiAl	Przebicie próbki, uszkodzenie płyty- świadka odłamkami pocisku bez przebicia
8 (fot. 7)	14G-P-N-AlNiAl	Przebicie próbki z zatrzymaniem pocisku, płyta-świadek nieuszkodzona odpryskami. Podobnie jak próbka nr 3
9	1A	Przebicie próbki i płyty-świadka
10	5A	Przebicie próbki i płyty-świadka
11	7A	Przebicie próbki i płyty-świadka
12	4US-FST	Przebicie próbki i płyty-świadka
13	2P-FST	Przebicie próbki i płyty-świadka

1	2	3
14 (fot. 8)	3P-FST	Przebite próbki oraz uszkodzenie płyty-świadka odłamkami bez przebiccia
15	6A	Przebite próbki i płyty-świadka
16	9A	Przebite próbki i płyty-świadka
17	8A	Przebite próbki i płyty-świadka
18	4A	Przebite próbki i płyty-świadka
19	1ANS-FST A	Przebite próbki i płyty-świadka
20	1ANS-FST B	Przebite próbki i płyty-świadka
21 (poliamid)	19G-N-T	Przebite próbki i płyty-świadka
22 (poliamid) (fot. 9)	20G-N-T	Przebite próbki oraz uszkodzenie płyty-świadka odłamkami bez przebiccia
23	3U/NS-FST	Przebite próbki i płyty-świadka
24	2ANS	Przebite próbki i płyty-świadka
25	3ANS	Przebite próbki i płyty-świadka

W tabeli 2 zastosowano następujące oznaczenia na próbkach: G – napawanie, N – warstwa nanostrukturalna, P – warstwa podkładowa, CNi – warstwa kompozytowa na osnowie niklu +WC, AlNi – warstwa spajająca natryskiwana drutem AlNi, Al – warstwa wierzchnia natryskiwana łukowo aluminium, T – warstwa wierzchnia natryskiwana płomieniowo tworzywem sztucznym CastoPlast o grubości 2 mm.



Fot. 2. Płyta nr 0 (od lewej): strona czołowa, strona tylna, płyta-świadek

Photo 2. Plate No. 0 (from the left): front side, back side, witness plate



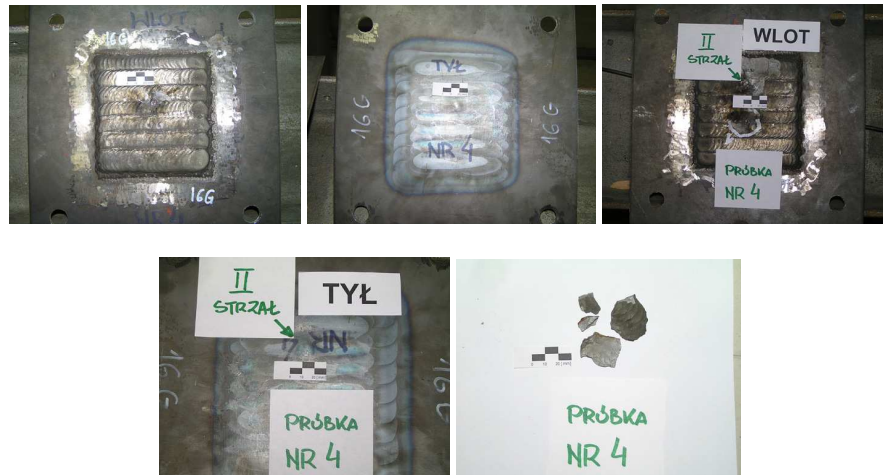
Fot. 3. Próbkę nr 2 (góra, od lewej): strona czołowa po pierwszym strzale, strona tylna po pierwszym strzale; (dół od lewej): strona czołowa po drugim strzale, strona tylna po drugim strzale

Photo 3. Specimen No. 2 (top, from the left): front side after the first shot, back side after the first shot, (bottom, from the left): front side after the second shot, back side after the second shot



Fot. 4. Próbkę nr 3 (od lewej): strona czołowa, strona tylna, wierzchołek zatrzymanego pocisku w płycie

Photo 4. Specimen No. 3 (from the left): front side, back side, the tip of the projectile stopped in the plate



Fot. 5. Próbkę nr 4 (góra, od lewej): strona czołowa po pierwszym strzale, strona tylna po pierwszym strzale, strona czołowa po drugim strzale; (dół, od lewej): strona tylna po drugim strzale, fragmenty warstwy napawanej oderwane po uderzeniu drugim pociskiem

Photo 5. Specimen No. 4 (top, from the left): front side after the first shot, back side after the first shot, front side after the second shot; (bottom, from the left): back side after the second shot, fragments of the hard coated layer detached after the second shot



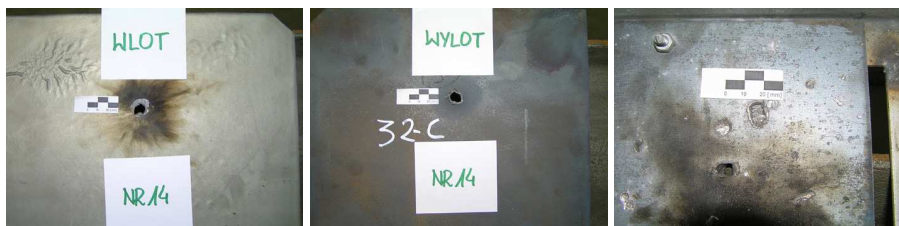
Fot. 6. Próbkę nr 7 (od lewej): strona czołowa, strona tylna, płyta-świadek

Photo 6. Specimen No. 7 (from the left): front side, back side, witness plate

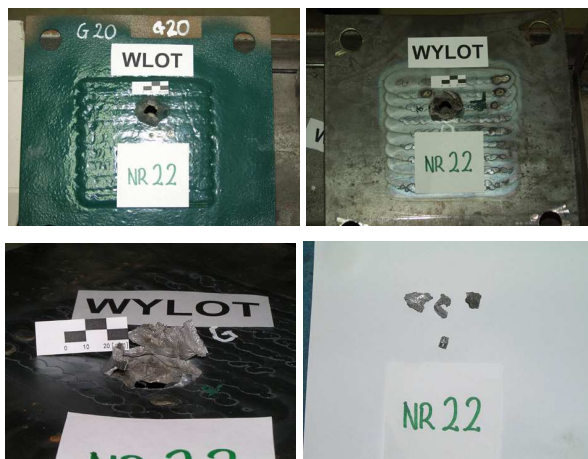


Fot. 7. Próbkę nr 8 (od lewej): strona czołowa, strona tylna

Photo 7. Specimen No. 8 (from the left): front side, back side



Fot. 8. Próbkę nr 14 (od lewej): strona czołowa, strona tylna, płyta-świadek  
Photo 8. Specimen No. 14 (from the left): front side, back side, witness plate



Fot. 9. Próbkę nr 22 (góra, od lewej): strona czołowa, strona tylna (dół, od lewej):  
zbliżenie na wylot pocisku, fragmenty próbki i rdzenia pocisku

Photo 9. Specimen No. 22 (top, from the left): front side, back side (bottom, from the left): close up of the projectile exit, fragments of the specimen and the projectile core

## 2.4. Wnioski z badań

Płyta pancerna ARMOX 500 o grubości 8 mm w oznaczeniu WAT nr 0 bez żadnych pokryć stanowi bazę porównawczą do oceny odporności balistycznej. Przebicie tej płyty pociskiem B-32 oraz nieprzebicie próbek o numerach 2 i 4 stanowi dowód na osiągnięcie zakładanej odporności balistycznej dla kalibru 7,62 mm. Jest to poziom III odporności balistycznej według STANAG 4569. Kryterium to spełniają również próbki nr 3 i 8, ponieważ pocisk wprawdzie przebił próbkę, ale został w niej zatrzymany, a płyta-świadek nie została uszkodzona (kryterium wojsk lądowych – penetracja całkowita).



Natomiast według kryterium marynarki wojennej wymienione przebicie próbki spowodowało prześwitowe pęknięcie płyty i utracenie szczelności, grożące dla jednostki pływającej zatonięciem.

Bliskie wymaganej odporności są próbki o numerach: 7, 14 i 22, w których otrzymano przebicie próbki, ale nie wystąpiło przebicie płyty-świadka. Świadczy to o utracie przez pocisk znaczącej energii po przebicciu płyty próbki.

Wyniki strzelań do pozostałych próbek z naniesionymi warstwami za pomocą różnych technik, należy pominąć ze względu na uzyskanie przebicie próbki i płyty-świadka. Mogą one posłużyć do dalszych badań pod kątem zastosowania ich na osłony chroniące przed pociskami pistoletowymi, np. w kamizelkach kuloodpornych.

Próbka nr 2, o najwyższej odporności balistycznej na oddziaływanie pocisków naboju 7,62x54R mm (III poziom wg STANAG), ma napawaną na płycie ze stali węglowej S235 (o grubości 3,6 mm) napoinę naniesioną metodą GMA, składającą się z warstw P-CNi-AlNiAl o łącznej grubości 5 mm. Wyniki strzelań wskazują, że wymienione warstwy składowe napoiny odgrywają istotną rolę w uzyskaniu wymaganej odporności balistycznej. Warstwa podkładowa poprawia spójność z materiałem płyty, warstwa CNi (kompozytowa na osnowie niklu z licznymi węglkami o wysokiej twardości) skutecznie zatrzymuje pocisk, natomiast warstwa AlNiAl uniemożliwia powstawanie odprysków.

### **3. BADANIA ODPORNOŚCI PŁYT NA PRZEBICIE POCISKIEM NABOJU WIELKOKALIBROWEGO 12,7x99 MM BROWNING**

#### **3.1. Stanowisko badawcze i amunicja do badań**

Stanowisko badawcze, przedstawione na fot. 10, składa się z: podstawy z zamocowaną lufą kalibru 12,7 mm wyposażoną w zamek, kulochwyty wraz z ekranami ochronnymi, próbek (badanych płyt), zamocowanych w stelażu. Podczas strzału odległość wylotu lufy od próbki wynosiła 30 m [2].

Do strzelania wykorzystywano 12,7x99 mm wielkokalibrowy nabój karabinowy Browning z pociskiem M33. Masa pocisku wynosi  $m_p = 41,3$  g, masa prochowego ładunku miotającego  $q = 15,2$  g, prędkość pocisku M33  $V_{24} = 888$  m/s, a energia kinetyczna pocisku  $E_{24} = 16\,283,33$  J.



Fot. 10. Stanowisko badawcze (z lewej) oraz próbka zamocowana w stelażu otoczonym ekranami ochronnymi

Photo 10. Laboratory stand (left) and the specimen mounted into the frame surrounded by protective screens

### 3.2. Obiekt badań

Obiektami badań były płyty o wymiarach 300x300 mm, wykonane różnymi technologiami, których charakterystyki przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Charakterystyka obiektów badań

Table 3. Characteristic of the tested objects

Numer próbki	Grubość płyty (mm)	Technologia wykonania
2	19	ARMOX 500, podwójna
3	17	ARMOX 500, podwójna
4	15	ARMOX 500, podwójna
5	12	ARMOX 500, podwójna
6	10	ARMOX 500, pojedyncza
1, 9	4	Napawanie GMA drutem proszkowym nanostrukturalnym na płytach ze stali ANSI 304
8, 15	6	Napawanie GMA drutem proszkowym nanostrukturalnym na płytach ze stali ANSI 304
7, 12	6	Napawanie GMA drutem proszkowym cermetalowym zawierającym węgliki wolframu w osnowie niklu na płytach ze stali ANSI 304
11, 14	4	Napawanie GMA drutem proszkowym cermetalowym zawierającym węgliki wolframu w osnowie niklu na płytach ze stali ANSI 304

Podczas strzału odległość wylotu lufy do próbki wynosiła 30 m. W celu przechwycenia odłamków próbek i pocisków (powstających podczas uderzenia) stelaż wraz z próbka osłonięto ekranami.

### 3.3. Wyniki badań

Badaniom na przebicie pociskiem M33 wielkokalibrowego naboju 12,7x99 mm Browning poddano 17 płyt. Wyniki badań odporności płyt przedstawiono w tabeli 4, a niektóre z nich uwidoczniiono na fot. 11-23.

Tabela 4. Wyniki badań płyt na oddziaływanie pociskiem naboju 12,7x99 mm Browning

Table 4. Results of the plate's interaction with the projectile of 12,7x99 mm Browning cartridge

Oznaczenia Wojskowej Akademii Technicznej	Oznaczenia Katedry Spawalnictwa Politechniki Śląskiej	Uwagi
10	2	Przebicie na wylot (średnica otworu ok. 13 mm)
6 (fot. 15)	A10 Armox	Przebicie na wylot (średnica otworu ok. 13 mm)
5 (fot. 14)	A12 Armox (dwie płyty)	Przebicie na wylot (średnica otworu ok. 11 mm)
4 (fot. 13)	A15 Armox (dwie płyty)	Przebicie na wylot (średnica otworu ok. 11 mm)
3 (fot. 12)	A17 Armox (dwie płyty)	Przebicie pierwszej blachy na wylot (średnica otworu ok. 14 mm). Druga blacha nieprzebita (deformacja plastyczna)
2 (fot. 11)	A19 Armox (dwie płyty)	Przebicie pierwszej blachy na wylot (średnica otworu ok. 13 mm). Druga blacha nieprzebita (deformacja plastyczna)
9 (fot. 17)	G-1 Nano	Przebicie na wylot (średnica otworu ok. 32x42 mm, brak odprysku)
8 (fot. 16)	G-2 Nano	Przebicie na wylot (średnica otworu ok. 22x10 mm, brak odprysku)
1 (fot. 19)	G-3 Nano	Przebicie na wylot (średnica otworu ok. 36 mm odprysk warstwy ok. 10%)
15 (fot. 18)	G-4 Nano	Przebicie na wylot (średnica otworu ok. 20x34 mm, brak odprysku)
7 (fot. 20)	G-4CerNi	Przebicie na wylot (średnica otworu ok. 15 mm, odprysk warstwy ok. 10%)
12 (fot. 22)	G-2CerNi	Przebicie na wylot (średnica otworu ok. 37x22 mm, odprysk warstwy ok. 100%)
11 (fot. 21)	G-3CerNi	Przebicie na wylot (średnica otworu ok. 26 mm, odprysk warstwy ok. 45%)
14 (fot. 23)	G-1CerNi	Przebicie na wylot (średnica otworu ok. 22x20 mm, odprysk warstwy ok. 40%)



Fot. 11. Próbką nr 2 (od lewej): strona czołowa pierwszej płyty próbki, wylot pocisku w pierwszej płycie próbki, fragment rdzenia pocisku i korek wybity z pierwszej płyty próbki

Photo 11. Specimen No. 2 (from the left): front side of the specimen's first plate, projectile exit in the specimen's first plate, fragment of the projectile core and a cork driven off from the specimen's first plate



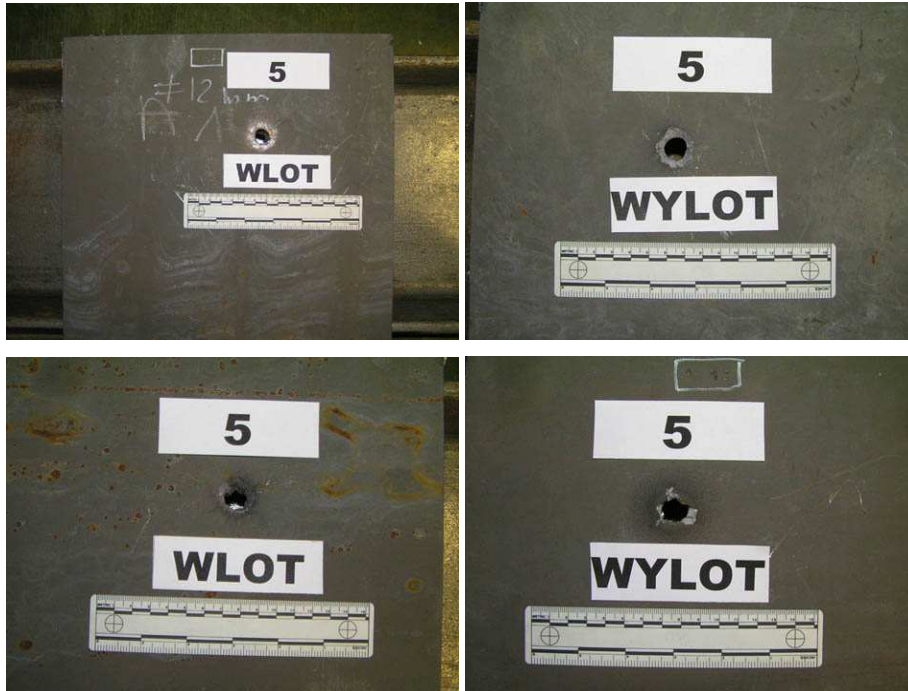
Fot. 12. Próbką nr 3 (górną, od lewej): strona czołowa pierwszej płyty próbki, wylot pocisku w pierwszej płycie próbki, (dolną, od lewej): pierwsza i druga płyta po uderzeniu pocisku oraz fragment rdzenia pocisku i korek wybity z pierwszej płyty próbki

Photo 12. Specimen No. 3 (top, from the left): front side of the specimen's first plate, projectile exit in the specimen's first plate, (bottom, from the left): the first and the second plate after the projectile impact, a fragment of the projectile core and a cork driven off from the specimen's first plate



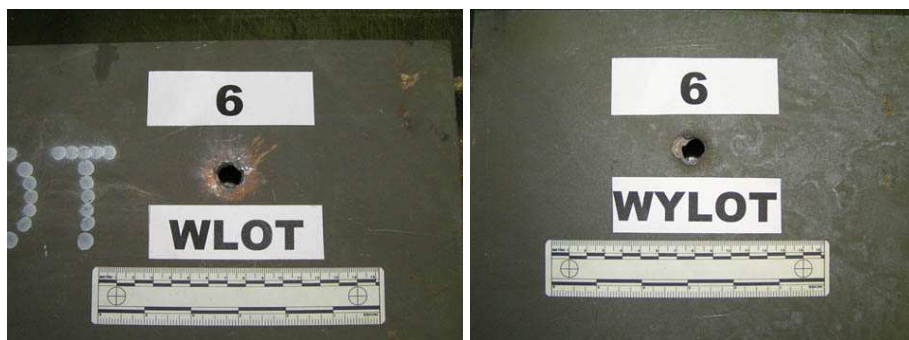
Fot. 13. Próbkę nr 4 (od lewej): strona tylna pierwszej płyty, strona czołowa drugiej płyty oraz strona tylna drugiej płyty

Photo 13. Specimen No. 4 (from the left): back side of the first plate, front side of the second plate, back side of the second plate



Fot. 14. Próbkę nr 5 (góra, od lewej): strona czołowa pierwszej płyty, wylot pocisku w pierwszej płycie (dół, od lewej): strona czołowa drugiej płyty, wylot pocisku w drugiej płycie

Photo 14. Specimen No. 5 (top, from the left): front side of the first plate, projectile exit in the first plate (bottom, from the left): front side of the second plate, projectile exit in the second plate



Fot. 15. Próbkę nr 6 (od lewej): strona czołowa oraz wylot pocisku  
Photo 15. Specimen No. 6 (from the left): front side, projectile exit



Fot. 16. Próbkę nr 8 (od lewej): strona czołowa, strona tylna  
Photo 16. Specimen No. 8 (from the left): front side, back side



Fot. 17. Próbkę nr 9 (od lewej): strona czołowa, strona tylna, fragmenty warstwy napawanej płyty  
Photo 17. Specimen No. 9 (from the left): front side, back side, fragments of the hard coated layer of the plate



Fot. 18. Próbkę nr 15 (od lewej): strona czołowa, strona tylna, zbliżenie na wylot pocisku

Photo 18. Specimen No. 15 (from the left): front side, back side, close up of the projectile exit



Fot. 19. Próbkę nr 1 (od lewej): strona czołowa, wylot pocisku oraz fragmenty napawanej warstwy płyty

Photo 19. Specimen No. 1 (from the left): front side, projectile exit and the fragments of the plate's hard coated layer



Fot. 20. Próbkę nr 7 (od lewej): strona czołowa, strona tylna, fragmenty warstwy napawanej płyty

Photo 20. Specimen No. 7 (from the left): front side, back side, fragments of the plate's hard coated layer



Fot. 21. Próbkę nr 11 (od lewej): strona czołowa, strona tylna, fragmenty warstwy napawanej płyty

Photo 21. Specimen No. 11 (from the left): front side, back side, fragments of the plate's hard coated layer



Fot. 22. Próbkę nr 12 (od lewej): strona czołowa, strona tylna, fragmenty warstwy napawanej płyty i rdzenia pocisku

Photo 22. Specimen No. 12 (from the left): front side, back side, fragments of the plate's hard coated layer and projectile core



Fot. 23. Próbkę nr 14 (od lewej): strona czołowa, strona tylna, fragmenty warstwy płyty (ochronnej)

Photo 23. Specimen No. 14 (from the left): front side, back side, fragments of the plate's hard coated layer

### 3.4. Wnioski z badań

Z przeprowadzonych badań odporności balistycznej próbek pociskiem M33 naboju 12,7x99 mm wynika, że nie uzyskano przebicia próbek wykonanych z dwóch płyt ze stali pancernej Armox o łącznej grubości 17 i 19 mm.



Przestrzeleniu całkowitemu w tych próbkach uległa tylko jedna płyta, druga zaś skutecznie zatrzymała pocisk dzięki deformacji sprężysto-plastycznej materiału. Potwierdził się tu znany efekt większej odporności na przebicie struktur złożonych z wielu blach od odporności na przebicie pojedynczej blachy o tej samej grubości jak struktury złożone.

Średnica krateru po przebicu pierwszej blachy wynosiła 13 i 14 mm i była większa od średnicy krateru w próbkach przestrzelonych na wskroś o grubości 10, 12 i 15 mm. Jest to efekt wywołany zatrzymaniem pocisku przez drugą płytę.

Próbki z napawaną warstwą „Nano” podczas ostrzału pociskiem M33 wykazały przebicie na wylot. Charakter przebicia był jednakże zróżnicowany. W próbkach „G-2 Nano” i „G-4 Nano” nie nastąpiło odpryskiwanie napoiny od podłoża, a krater miał nieregularny kształt o wymiarach 22x10 mm (w próbce „G-2 Nano”) oraz 20x34 mm (w próbce „G-4 Nano”). Próbki „G-1 Nano” i „G-3 Nano” po ostrzale miały odpryski sięgające ok. 10% całkowitej powierzchni pokrytej napawaną warstwą. Próbka „G-2 Nano” najlepiej znosiła warunki ostrzału i może być brana pod uwagę do dalszych badań osłon balistycznych w strukturach złożonych (tzw. kanapkowych). Wynika to również z krzyżowego układu ściągów, jakie zastosowano w tej próbce.

Próbki z napawaną warstwą „CerNi” podczas ostrzału pociskiem M33 zostały przebite na wylot. Jednakże we wszystkich próbkach występowały odpryski napawanej warstwy dochodzące nawet do 100% (odprysk całkowity dla próbki nr 12 „G-2 CerNi” – fot. 22). Powoduje to, że struktury naniesione tą technologią prawdopodobnie nie będą przydatne w dalszych badaniach osłon balistycznych. Odpryski napawanej warstwy stanowią bowiem istotne zagrożenie dla otoczenia.

W próbkach, gdzie dochodziło do fragmentacji warstwy (odprysków), kształtowały się one zgodnie z linią siatki pęknięć. Natomiast nie miało to znaczenia w próbkach „G-1 Nano”, „G-2 Nano” i „G-4 Nano”, gdzie odpryski nie powstawały.

#### **4. PODSUMOWANIE**

Na podstawie przeprowadzonych badań strzelaniem odporności płyt (wykonanych różnymi technologiami) na przebicie pociskiem B-32 naboju karabinowego 7,62x54R mm Mosin oraz pociskiem M33 naboju wielkokalibrowego 12,7x99 mm Browning można przyjąć kierunek dalszych badań nad strukturami złożonymi osłon balistycznych tzw. kanapkowymi. Na przykład można połączyć w jedną złożoną strukturę kanapkową próbkę „15G-P-CNi-AlNiAl” (najlepiej znoszącą warunki ostrzału pociskiem B-32) z próbką „G-2 Nano”.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011  
jako projekt rozwojowy.*

## LITERATURA

- [1] Opracowanie zbiorowe pod redakcją R. Woźniaka, *Sprawozdanie z wykonania zadania pt. „Badania odporności płyt na przebicie pociskiem B-32 naboju karabinowego 7,62x54R mm Mosin”*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 2009 (praca niepublikowana dostępna w Katedrze Budowy Maszyn Wydziału Mechanicznego Wojskowej Akademii Technicznej).
- [2] Opracowanie zbiorowe pod redakcją R. Woźniaka, *Sprawozdanie z wykonania zadania pt. „Badania odporności płyt na przebicie pociskiem M33 wielkokalibrowego naboju karabinowego 12,7x99 mm”*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 2010 (praca niepublikowana dostępna w Katedrze Budowy Maszyn Wydziału Mechanicznego Wojskowej Akademii Technicznej).

## **Penetration Tests of Armour Plates Made in New Technologies**

Zdzisław BOGDANOWICZ, Jacek BOŻEJKO,  
Andrzej KLIMPEL, Wojciech KOPERSKI, Zbigniew SURMA,  
Łukasz SZMIT, Ryszard WOŹNIAK

**Abstract.** This paper presents the results of the tests of experimental armour resistance for penetration with 7,62x54R mm Mosin and 12,7x99 mm NATO round. The highest ballistic resistance to the impact of a 7,62 mm-calibre bullet (level III according STANAG) was observed for plates that were pad welded with a P-CNi-AlNiAl layer. Whereas, for a 12,7 mm-calibre bullet, the best results were obtained for nanostructural padding welds. Tests were made by the Faculty of Mechatronics, Military University of Technology, during the R+D project PBR/15-022/2009/WAT entitled: „HVOF arc and flame spraying as GMA and laser pad welding of nanostructural composite and gradient surface layers that are characterised by a high ballistic resistance of an armour's protection module”.

**Keywords:** mechanics, ballistic shields, pad welding, spraying