

Witold ILEWICZ, Damian BERESKA
Politechnika Śląska

TESTY MATERIAŁÓW NA EKRAAN STRZELNICY MULTIMEDIALNEJ W ZAKRESIE NISKICH ENERGII KINETYCZNYCH POCISKÓW

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki testów gumowych okładzin przeznaczonych na ekran strzelnicy multimedialnej w zakresie energii kinetycznej poniżej 17 J o grubościach od 4 do 12 mm. Testy polegały na wielokrotnym oddawaniu strzałów do próbek okładzin o wymiarach 14 x 14 cm. Przedstawiono wnioski dotyczące możliwości zastosowania testowanych okładzin do budowy ekranu multimedialnej strzelnicy ćwiczebnej.

TESTS OF MATERIALS FOR SHOOTING GALLERY MULTIMEDIA SCREEN LININGS FOR LOW KINETIC ENERGY OF BULLETS

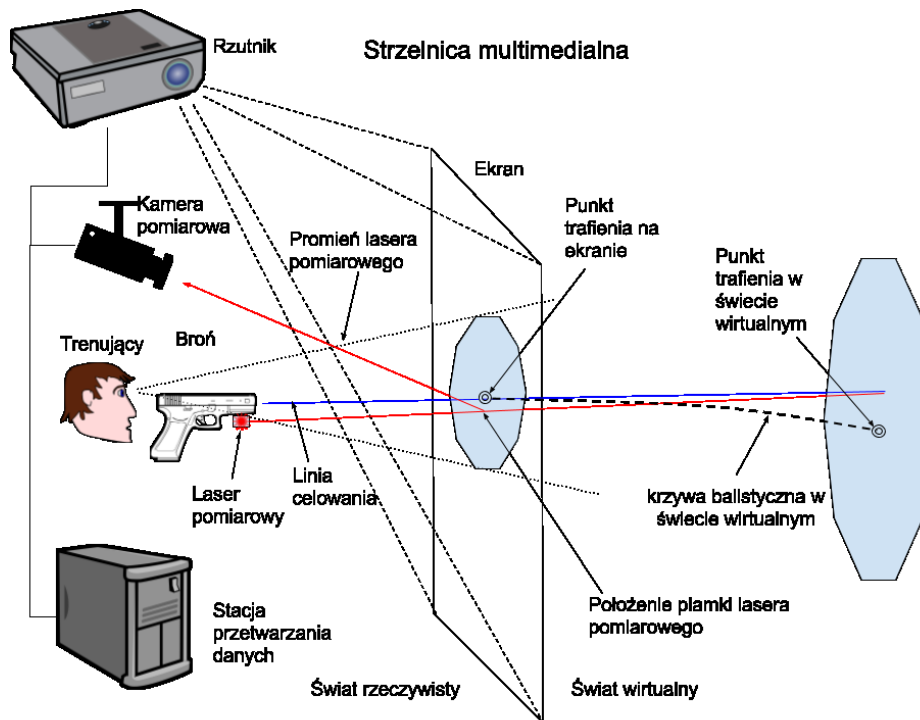
Summary. The article presents the results of tests of rubber anti-cushion linings in the field of kinetic energy below 17 J with thicknesses from 4 to 12 mm. The tests consisted of repeatedly firing shots into 14 x 14 cm lining samples. Conclusions regarding the possibility of using the tested pads for the construction of a training shooting gallery multimedia screen are presented..

1. Wprowadzenie

Strzelnice multimedialne znajdują coraz powszechniejsze zastosowanie w treningu strzeleckim funkcjonariuszy różnych służb. Strzelnica taka umożliwia realizowanie o wiele bardziej zaawansowanych treningów strzeleckich w porównaniu ze strzelnicami tradycyjnymi, ze względu na wyświetlanie celu jako wirtualnego, interaktywnego obrazu generowanego przez rzutnik, dzięki czemu można zrealizować praktycznie dowolne scenariusze treningowe, zarówno statyczne jak i dynamiczne. Ideę strzelnicy wirtualnej przedstawiono na rysunku 1. Wadą typowej strzelnicy wirtualnej jest obniżenie realizmu treningu przez stosowanie replik broni, z której realnie się nie strzela, a punkt trafienia jest określany np. za pomocą wskaźnika laserowego. Idealną sytuacją byłaby możliwość oddawania na strzelnicy wirtualnej strzałów z rzeczywistej broni, jednakże wymaga to skonstruowania odpowiedniego ekranu strzelnicy, który stanowiłby jednocześnie kulochwyt i miał właściwości antyrykoszetowe.

W ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju nr DOB-BIO6/11/90/2014 pt. „Wirtualny symulator działań ochronnych Biura Ochrony Rządu” skonstruowano prototypowy ekran o szerokości 225 cm i wysokości 125 cm,

przeznaczony do prowadzenia testów aparatury i oprogramowania strzelnicy multimedialnej, w tym testów detekcji punktu trafienia z zastosowaniem kamer termowizyjnych. Założono, że w przypadku tego ekranu strzelania będą odbywały się w zakresie niskich energii kinetycznych pocisków, poniżej 17 J, z zastosowaniem broni pneumatycznej, która z punktu widzenia prawa polskiego nie stanowi broni i nie wymaga rejestracji. Założenie wynika z potrzeby zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa osób podczas początkowych testów oraz minimalizacji prawdopodobieństwa uszkodzenia prototypowego i drogiego sprzętu (kamery termowizyjne itp.).



Rys. 1. Idea strzelnicy multimedialnej

2. Stanowisko testowe i sposób przeprowadzenia testów

2.1. Testowane materiały

Przy projektowaniu ekranu strzelnicy multimedialnej założono trójwarstwową strukturę ekranu o wymiarach 220 cm x 125 cm:

1. warstwa antyrykoszetowa z płyty gumowej, na którą padają strzały i na której wyświetlane są cele;
2. warstwa tłumiąca (gąbka, wełna, filc);
3. warstwa nośna (płyta OSB, płyta z desek drewnianych, sklejka lub t.p.).

Materiał ekranu stanowiący wykładzinę antyrykoszetową 1), powinien być wystarczająco trwały, to znaczy powinien wytrzymywać dużą liczbę strzałów treningowych bez nadmiernego uszkodzenia ekranu – kulochwytu. Pociski, które przebijają ekran, powinny utknąć w warstwie amortyzującej lub w spodniej drewnianej płycie nośnej. Utrata energii kinetycznej uniemożliwia ponowne przebicie się przez

wykładzinę antyrykoszetową po ewentualnym odbiciu od płyty nośnej. Ponadto, w zakresie niskich energii należy zbadać sposób odbijania się amunicji od płyty gumowej ekranu, gdyż amunicja o niskiej energii kinetycznej, zwłaszcza w przypadku płaskiego czubka, może nie przebić okładziny antyrykoszetowej. Wytypować należy rodzaj i grubość materiału optymalne do budowy ekranu.

Do badań zakupiono próbki płyt gumowych NBR (kautczuk butadienowo-akrylonitrynowy) o grubościach 4 mm, 6 mm, 8 mm, 12 mm, każdą w wersji bez przekładki oraz z przekładką tkaninową stanowiącą dodatkowe wzmocnienie. Są to płyty olejoodporne, które charakteryzują się dobrą odpornością na starzenie cieplne oraz oleje i benzyny. Dodatkowo zakupiono profil gumowy o oznaczeniu SP-179 z bardzo miękkiej gumy o grubości 6 mm. Zestawienie zakupionych materiałów przedstawiono w tabeli 1. W trzeciej kolumnie tabeli 1 przedstawiono szacunkową masę ekranu strzelnicy o wymiarach 220 cm x 125 cm wykonanego z danego rodzaju gumy (G) wraz z filcową warstwą tłumiącą (WT) oraz płytą nośną drewnianą lub OSB (PN). W celu wyznaczenia masy całkowitej kulochwyty dokonano wyznaczenia gęstości materiałów na kulochwyty poprzez ważenie oraz pomiar objętości.

Tabela 1

Zestawienie testowanych materiałów gumowych

LP	Opis testowanych płyt gumowych, G – grubość płyty	Szacunkowa masa ekranu o wymiarach 2,2 m x 1,25 m , w kg, G + WT + PN
1	NBR, G=12 mm, jednolita, twarda	$60 + 2,5 + 22 = 84,5$ kg
2	NBR, G=12 mm, j.w., z przekładką tkaninową	$60 + 2,5 + 22 = 84,5$ kg
3	NBR, G=8 mm, jednolita, twarda	$40 + 2,5 + 22 = 64,5$ kg
4	NBR, G=8 mm, j.w., z przekładką tkaninową	$40 + 2,5 + 22 = 64,5$ kg
5	NBR, G=6 mm, jednolita, twarda	$27 + 2,5 + 22 = 51,5$ kg
6	NBR, G=6 mm, j.w., z przekładką tkaninową	$27 + 2,5 + 22 = 51,5$ kg
7	NBR, G=4 mm, jednolita, twarda	$18 + 2,5 + 22 = 42,5$ kg
8	NBR, G=4 mm, j.w., z przekładką tkaninową	$18 + 2,5 + 22 = 42,5$ kg
9	SP-179, G=6 mm, miękka, jednolita, o niskiej gęstości	Ok. 40kg

W celu przeprowadzenia testów przygotowano próbki ekranów o wymiarach 14 cm na 14 cm składające się z 3 warstw:

1. kwadratowego kawałka płyty gumowej o wymiarach 14 x 14 cm,
2. warstwy tłumiącej z samoprzylepnego filcu o wymiarach 14 x 14 cm,
3. warstwy nośnej z płyty pilśniowej o wymiarach 14 x 14 cm.

Warstwa z samoprzylepnego filcu została naklejona na warstwę nośną, a płyta gumowa została do niej przykręcona w narożnych częściach za pomocą wkrętów stalowych. Próbki takich ekranów przygotowano dla wszystkich rodzajów płyt gumowych wymienionych w tabeli 1.

2.2. Broń pneumatyczna i amunicja

Do testów wykorzystano 3 pistolety i 2 karabinki pneumatyczne.

Pistolety:

1. Łucznik wz. 70 (4,5 mm, wiatrówka sprężynowa, energia wystrzału ok. 2,5 J).
2. Weihrauch HW40 (4,5 mm, PCA, energia wystrzału ok. 3,5 J).
3. Zoraki HP 1 (4,5 mm, PCA, energia wystrzału ok. 8,2 J).

Karabinki:

1. Beretta CX4 Storm (4,5 mm, CO₂, energia wystrzału ok. 6,7 J).
2. Weihrauch HW97 (4,5 mm, wiatrówka sprężynowa, energia wystrzału ok. 15 J)

Podczas testów zastosowano standardową amunicję ołowianą diabolo kaliber 4,5 mm:

1. Crossman Pointed, czubek zaokrąglony masa 0,480 g.
2. H&N Sport Glatt, czubek płaski, masa 0,530 g.
3. JSB Exact, czubek okrągły, masa 0,547 g.

W celu dokładnego określenia energii kinetycznej przeprowadzono dla zastosowanej broni oraz dla wszystkich rodzajów amunicji testy chronograficzne wyznaczenia energii początkowej wystrzałów na podstawie wyznaczenia prędkości początkowej pocisków po wystrzale. Zastosowano chronograf firmy Caldwell Ballistic Precision (zakres pomiarowy 2 – 3000 m/s; dokładność wzorcowania fabrycznego: 0,25%). Podczas testów chronograf umieszczono na statywie, w odległości ok. 0,4 m od kulochwyty z tarczą pistoletową do strzelań sportowych na odległości 10 m. Do tarczy oddawano strzały z odległości 6 m z broni przeznaczonej do testów, z zastosowaniem wszystkich rodzajów amunicji. Na podstawie wskazań chronografu oraz masy amunicji wyznaczono energię kinetyczną pocisków trafiających w tarczę.

Energię kinetyczną pocisków trafiających w tarczę wyznaczono na podstawie wzoru

$$E_k = m \cdot \frac{V^2}{2}, \quad (1)$$

gdzie m – masa pocisku, V – prędkość pocisku w okolicy punktu trafienia. Wyniki strzelań testowych w celu wyznaczenia rzeczywistej energii kinetycznej pocisków przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Podsumowanie wyników testów energii kinetycznej dla zastosowanej broni oraz amunicji

Oznaczenie broni	Opis broni	Energia wystrzału, J, dla różnych rodzajów amunicji			Średnia energia, J
		Crossman Pointed, ostry	H&N, płaski	JSB, zaoblony	
„HW97”	HW97, karabin spr., 4,5mm	15,1 J (251 m/s)	14,3J (232 m/s)	14,6J (231 m/s)	14,7 J
„Z”	Zoraki HP 1-2, pistolet, PCA, 4,5mm	7,9 J (181 m/s)	8,3 J (177 m/s)	8,3J (174 m/s)	8,2 J
„B”	CX4 Storm, karabinek, CO2, 4,5mm	7 J (170 m/s)	6,5J (156 m/s)	6,2J (150 m/s)	6,6 J
„HW40”	Hw40, pistolet, PCA, 4,5mm	3,3J (117 m/s)	3,5 J (115 m/s)	3,6 J (115 m/s)	3,5 J
„Ł”	Łucznik wz 70, pistolet spr., 4,5mm	2,6 J (104 m/s)	2,4 J (95 m/s)	2,3J (91 m/s)	2,4 J

2.3. Sposób przeprowadzenia testów

Przygotowane próbki ekranów z okładziną antyrykoszetową zawieszono na pionowej ścianie z desek na wysokości 1,7 m. Do każdej z próbek ekranów antyrykoszetowych oddawano strzały z opisanej broni pneumatycznej, z odległości 6 m, w pozycji stojącej, z wolnej ręki (w celu zapewnienia rzeczywistych warunków podczas użytkowania strzelnicy z ekranem multimedialnym). Przykład wykonania próbek ekranów antyrykoszetowych oraz ich rozmieszczenie na stanowisku testowym przedstawiono na rysunku 2.

Przebieg testów był następujący:

- 1) Przygotowanie i zabezpieczenie stanowiska testowego.
- 2) Kalibracja przyrządów celowniczych broni.
- 3) Pomiar energii kinetycznej pocisków dla poszczególnych broni i rodzajów amunicji.
- 4) Testy 11 ekranów antyrykoszetowych z amunicją o ostrym czubku (Crosman).
- 5) Testy 11 ekranów antyrykoszetowych z amunicją o płaskim czole (H&N).
- 6) Testy 11 ekranów antyrykoszetowych z amunicją o ostrym czubku (Crosman).

Podczas testów, do każdej z przygotowanych próbek ekranów antyrykoszetowych strzelano po kilkadziesiąt razy.



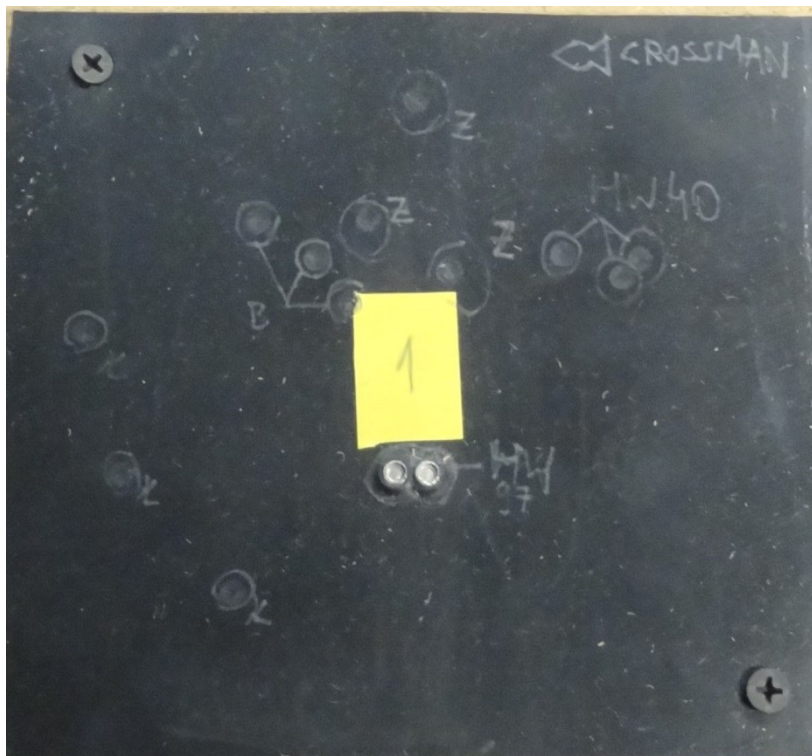
Rys. 2. Rozmieszczenie 3 próbek ekranów antyrykoszetowych na stanowisku testowym

3. Wyniki testów

Po przeprowadzonych strzelaniach wykonano zdjęcia wszystkich próbek ekranów oraz oceniono ich stan. Na próbkach zaznaczono numer próbki oraz opisano punkty trafień w zależności od zastosowanej broni oraz rodzaju amunicji. Przykładowy wygląd próbek testowych pokazano na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Próbka 7 po testach; Z – trafienia pistoletem Zoraki (x2p – dwa pompowania, x3p – 3 pompowania); B – trafienia karabinkiem CX4 Storm; HW97 – trafienia karabinkiem HW97



Rys. 4. Próbką 1 po testach; Z – trafienia pistoletem Zoraki; HW40 – trafienia pistoletem HW40; B – trafienia karabinkiem CX4 Storm; Ł – trafienia pistoletem Łucznik wz. 70; HW97 – trafienia karabinkiem HW97

Na podstawie analizy stanu próbek wyciągnięto wnioski dotyczące możliwości zastosowania testowanych materiałów gumowych jako okładziny antyrykoszetowej ekranu strzelnicy multimedialnej użytkowanej w zakresie niskich energii kinetycznych wystrzelianych pocisków.

4. Podsumowanie i wnioski

- W zakresie energii do 8 J płyty gumowe NBR o grubości od 4 do 12 mm, nawet bez przekładki płóciennej, nie uległy przebiciu przy pojedynczym trafieniu w żadnym z oddanych strzałów testowych; wniosek wyciągnięto na podstawie wyników testów na próbkach 1-4 (grubości odpowiednio od 12 do 4 mm) dla śrutu Crosman z ostrym czubkiem, który miał najlepsze własności przebijające. Pozostała amunicja, co sprawdzono w czasie testów wstępnych przy tych samych energiach, co śrut Crosman, ma mniejszą zdolność przebijania.
- Najmocniejsza zastosowana broń (HW97, 15 J) pojedynczym strzałem przebiła jedynie najcieńszą próbkę, nr 4. W najgrubszą próbkę nr 1 pociski wystrzelone z HW97 wbiły się jedynie na głębokość połowy ich długości, wyraźnie wystając ponad powierzchnię płyty. W próbkach nr 2 i nr 3 (o grubościach odpowiednio 8 mm i 6 mm) pociski z HW97 utkwili wewnątrz płyt, nie przebijając ich.

W przypadku najcieńszej płyty gumowej zastosowanej w próbie nr 4 pojedynczy strzał śrutem z ostrym czubkiem o energii ok. 15 J przebija taką płytę.

- Amunicja, która nie przebiła płyt gumowych, ani się nie wbiła, rykoszetowała, pozostawiając niewielkie ślady trafień (zmatowiałe, owalne punkty na płycie gumowej). Energia kinetyczna po rykoszetowaniu była praktycznie pomijalna; 95% rykoszetów spadało na ziemię przed kulochwytem w odległości od 0,1 do 3m od kulochwytu w stronę strzelca. Pojedyncze rykoszety docierały na odległość 4 m od kulochwytu w stronę strzelca. Ani jeden rykoszet nie osiągnął odległości w jakiej przebywał strzelec od kulochwytu (6m).
- Płyty gumowe z przekładką płócienną posiadają większą wytrzymałość na przebicie, niż płyty bez przekładki.
- Testy przeprowadzone dla próbek 5 i 6 (z przekładką płócienną) wykazały, iż pojedynczy strzał amunicją o ostrym czubku (Crosman) nawet przy energii 21J nie ma możliwości przebicia takiej płyty. Dopiero seria strzałów w zbliżony punkt jest w stanie rozerwać gumę płyty.
- W testowanych przypadkach, nawet jeśli doszło do przebicia płyty gumowej (tylko najwyższe energie, karabin HW97), to śrut stracił na tyle energię kinetyczną, że nie nastąpiło wbicie się w drewnianą płytę spodnią. Wszystkie zastosowane w próbkach 1 - 10 płyty gumowe dobrze tłumią energię kinetyczną pocisków 4,5 mm w zakresie 2 – 15 J. Zapewnia to dobre zabezpieczenie oraz trwałość konstrukcji drewnianej, na której zamontowana jest płyta antyrykoszetowa.
- Twardość gumy NBR powoduje, że dla niższych energii wystrzału, poniżej 10 J, będą, nawet w przypadku amunicji z ostrym czubkiem, występowały rykoszety, jednakże ich energia będzie zaniedbywalna. Aby całkowicie wyeliminować rykoszety od kulochwytu należy dobrać i zastosować gumę o większej miękkości – wymagania takie spełnia guma SP-179 (poz. 9 w tabeli 1).
- W celu zminimalizowania możliwości rykoszetowania od ekranu strzelnicy multimedialnej zaleca się stosowanie amunicji ołowianej o ostrym czubku, ułatwiającej wbijanie się w gumową okładzinę antyrykoszetową. Śruty o czubku zaoblonym oraz płaskim mają mniejszą możliwość przebicia okładziny antyrykoszetowej, a tym samym ich zastosowanie zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia rykoszetu, aczkolwiek niegroźnego dla strzelców przy zastosowaniu minimum środków bezpieczeństwa np. takich jak okulary ochronne. Wystąpienie rykoszetów powoduje konieczność usuwania śrutu z podłogi strzelnicy, np. pomiędzy sesjami treningowymi. Z drugiej strony przebijanie gumowej płyty antyrykoszetowej przy wielokrotnych trafieniach powoduje szybsze zużycie takiej płyty i konieczność częstszej jej wymiany. Stosowanie śrutów z płaską główką wydłuża żywotność płyt, przy jednoczesnym godzeniu się na rykoszety (aczkolwiek bezpieczne). W takim przypadku jednym z możliwych rozwiązań jest

zastosowanie pomiędzy strzelcem, a tarczą (w odległości ok. 3 m od tarczy) przegród o wysokości kilkudziesięciu cm w celu ograniczenia rozprzestrzeniania się śrutu po podłodze pomieszczenia treningowego.

- Wszystkie przetestowane płyty gumowe w zakresie energii kinetycznej pocisków <2 – 15> J zapewniają odpowiednie bezpieczeństwo.
- Po przeprowadzonych testach wybór gumy na okładzinę antyrykoszetową okazuje się problemem wielokryterialnym i możliwe są różne wybory w zależności od czynników bezpieczeństwa, ergonomii oraz ekonomicznych. Dobór płyty gumowej do konkretnego rozwiązania ekranu multimedialnej strzelnicy może być dokonany na różne sposoby, biorąc pod uwagę różne czynniki, na przykład można rozważyć dwa poniższe przypadki:
 - 1) Rozwiązanie zapewniające minimalną liczbę rykoszetów. W takim wypadku płyta gumowa powinna być miękka (np. taka, jak SP-179), zastosowana amunicja z ostrym czubkiem, tak aby prawdopodobieństwo przebicia płyty gumowej było zmaksymalizowane. Pozwoli to zachować „czystość” podłogi strzelnicy. Rozwiązanie takie można zalecić dla pokazowej, przenośnej wersji strzelnicy, gdzie oddawana będzie względnie niewielka liczba strzałów. Dodatkową zaletą poprawiającą mobilność będzie niewielka waga ekranu kulochwykowego. Ujemną stroną takiego rozwiązania jest konieczność względnie częstej wymiany płyt gumowych okładziny antyrykoszetowej.
 - 2) Rozwiązanie zapewniające maksymalną trwałość ekranu, minimalizując częstość wymiany płyt gumowych kulochwytu. Rozwiązanie takie jest rozsądne w przypadku intensywnego użytkowania strzelnicy. W takim wypadku należy zastosować możliwie grubą płytę gumową (oczywiście w granicach rozsądku) oraz śrut z płaską główką. Ujemnymi stronami takiego rozwiązania są duża masa ekranu zmniejszająca mobilność (szacunkowe wyliczenia dot. masy ekranu w zależności od grubości płyty gumowej zamieszczono w tabeli 1), wystąpienie rykoszetów i problem ich sprzątnięcia i rozprzestrzeniania się po terenie strzelnicy). Możliwe są również rozwiązania pośrednie.
- Przeprowadzone testy umożliwiły wyciągnięcie cennych wniosków dot. budowy ekranu multimedialnego strzelnicy ćwiczebnej w zakresie niskich energii kinetycznych pocisków (2-17J). W razie potrzeby testy można rozszerzyć o broń bojową o wyższych energiach kinetycznych, testując inne gatunki gumy na płyty gumowe okładzin antyrykoszetowych, lub w celu rozwiązania konkretnych problemów, jak na przykład minimalizacja rykoszetów, czy dobór rodzaju amunicji w konkretnych zastosowaniach strzelnicy.

Praca została sfinansowana przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu nr DOB-BIO6/11/90/2014 „Wirtualny symulator działań ochronnych Biura Ochrony Rządu”.

LITERATURA

1. <http://www.plytygumowe.pl/plyty-gumowe/>
2. <http://www.guma.jkk.com.pl/>
3. <https://www.semag.pl/strzelnice-kulochwyty.html>
4. <https://archem.com.pl/plyty-antyrykoszetowe-pgaps/>
5. Sienko S.: Encyklopedia techniki wojskowej. Warszawa: Wydawnictwo MON, 1978, s. 294.
6. Kochański S.: Automatyczna broń strzelecka, SIGMA-NOT, 1991.
7. Wilniewicz P.: Broń strzelecka. PWN, 1955.
8. <https://www.weihrauch-sport.de/> - strona producenta broni pneumatycznej
9. <http://atakarms.com/> - strona producenta broni pneumatycznej