



## MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ZUŻYTYCH OPON W INDYWIDUALNYCH OSŁONACH BALISTYCZNYCH

### *POSSIBILITIES FOR APPLICATION OF WASTE TYRES IN INDIVIDUAL BALLISTIC ARMOURS*

Tomasz CHMURA, *chmurat@witu.mil.pl*, ORCID: 0009-0004-4978-2856  
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, ul. Pr. St. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka  
*Military Institute of Armament Technology, 7 Wyszyńskiego St., 05-220 Zielonka, Poland*

DOI 10.5604/01.3001.0054.6684

**Streszczenie:** Rozwój motoryzacji i transportu samochodowego są źródłem dużej ilości odpadów. Jednym z nich, trudnym i kosztownym do zagospodarowania, są zużyte opony. Ich nagromadzenie i składowanie wiąże się z poważnymi zagrożeniami dla środowiska. Jest też inspiracją do poszukiwań nowych obszarów, gdzie odpady te mogłyby znaleźć zastosowanie. W artykule przedstawiono wyniki badań odporności na przekłucie (nożoodporności) próbek wykonanych z trzech warstw różnych rodzajów zużytych opon z samochodów osobowych, zgodnie z normą NIJ Standard–0115.00: Stab Resistance of Personal Body Armor. Próbkę spełniły wymagania jedynie pierwszego poziomu odporności w przypadku ostrza imitującego duży nóż wojskowy. Badania odporności na wyższych poziomach oraz innych ostrzy dały wynik negatywny. Możliwość potencjalnego wykorzystania materiałów pochodzących ze zużytych opon w indywidualnych osłonach chroniących przed przekłuciem bronią białą jest mocno ograniczona.

**Słowa kluczowe:** odpady, zużyte opony, osłony balistyczne, odporność na przekłucie, bezpieczeństwo

## 1. Wstęp

Dynamicznie rozwijający się przemysł motoryzacyjny oraz rosnąca liczba używanych pojazdów samochodowych są z jednej strony stałym elementem rozwoju gospodarczego, z drugiej zaś są źródłem rosnącej

**Abstract:** Development of motorisation and car transport is a source of large amounts of waste. Tyres waste is difficult and expensive for utilisation. Its aggregation and storing poses a serious problem to the environment. It also is an inspiration for searching new areas where the waste could be used. The paper presents results of tests on stabbing (knife resistance) for samples prepared with three layers of different types of used car tyres according with standard NIJ Standard–0115.00: Stab Resistance of Personal Body Armor. The samples met the requirements only for the first level of resistance in the case of an edge imitating a large military knife. Testing the resistance on higher levels and for other edges ended with a negative result. Therefore, a possibility for potential application of materials originating from the used tyres in individual armours protecting against stabbing by the white weapon is significantly limited.

**Keywords:** waste, used tyres, ballistic armours, resistance to stabbing, safety

## 1. Introduction

Dynamic development of motor industry and increasing number of used cars are on the one side a permanent part of economic progress, but on the other side they are a source of increasing

ilości odpadów, trudnych do zagospodarowania i stwarzających zagrożenia dla środowiska naturalnego. Jednym z nich są zużyte opony, których jedynie niewielka część podlega utylizacji i powtórnemu zagospodarowaniu, natomiast większość stanowią odpady, ze względu na brak opłacalnych metod ich utylizacji [1]. Główny problem stanowi długi czas biodegradacji opon, wynoszący około 100 lat [2]. Przetwórstwo zużytych opon jest kosztowne i czasochłonne [3], a ich składowanie w dużych ilościach grozi pożarami, stanowiącymi poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa i zdrowia nie tylko okolicznych mieszkańców, ale również całych regionów [4]. Wciąż prowadzone są badania, których wyniki umożliwiłyby zagospodarowanie tego rodzaju odpadów w większej skali, w tym również w celach wojskowych [5]. Duża ilość tego rodzaju odpadów stanowi problem również dla polskiej gospodarki [6]. Uwzględniając hierarchię postępowania z odpadami, zawartą w ustawie o odpadach należy rozpatrywać kierunki przetwarzania zużytych opon w następującej kolejności: zapobieganie powstawaniu odpadów, przygotowywanie do ponownego użycia, recykling, inne procesy odzysku, unieszkodliwianie [7].

Zużyte opony w całości lub po przetworzeniu stanowią surowiec, który nadaje się do wielu zastosowań. Mogą być one z powodzeniem stosowane do budowy obiektów, wykorzystywanych zarówno na potrzeby cywilne, jak i wojskowe [8,9]. Ich właściwości umożliwiają zastosowanie ich jako materiał służący do wychwytywania pocisków z broni strzeleckiej. Obecnie do celów wojskowych najczęściej wykorzystuje się materiał ze zużytych opon w postaci granulatu lub włókien gumowych, do produkcji mat antyrykoszetywych i kulochwyków [10]. Wyróżnia się następujące rodzaje kulochwyków, do produkcji których wykorzystywane są materiały ze zu-

amount of waste which is difficult for managing and creates a threat for the natural environment. Tyres belong to the waste which only in small percentage is subject to utilisation and secondary use due to the lack of payable methods of its utilisation [1]. The main problem concerns a long time of tyres biodegradation equal to ca. 100 years [2]. The utilisation of used tyres is expensive and time consuming [3], and their storage in greater amounts creates a risk of fires which are a serious threat to the safety and health not only of local population but the whole regions, as well [4]. The investigations have been still under way on the utilisation of this type of waste in a larger scale, including also the military purposes [5]. Large amount of this kind of waste creates also a problem for the Polish economy [6]. Regarding the priorities on dealing with the waste, included in the Act on the Waste, the following order of steps, undertaken for reprocessing the used tyres, have to be considered: prevention against production of the waste, preparation for repeated use, recycling, other processes of recovering, neutralisation [7].

The waste tyres, without or after reprocessing, can create a raw material suitable for many applications. It may be successfully used in construction of objects both of civilian or military designations [8,9]. Its properties give a chance to use it as material for catching the small arms bullets. Now, for the military purposes, the material from the waste tyres is used in the form of granulate or rubber fibres for production of anti-ricochetting mats and butts [10]. Following types of butts, using the materials of waste tyres, can be distinguished:

żytych opon:

- kulochwyty lamelowe;
- kulochwyty z granulatu gumowego (nasypowe);
- kulochwyty mobilne (przewoźne).

Kulochwyty lamelowe są wykonane zarówno z elementów stalowych, jak i gumowych. Ekran gumowy zmniejsza prędkość pocisków i pełni funkcję antyrykoszetową [10]. Kulochwyty z granulatu gumowego wykonywane są w formie nasypu. Najważniejszą zaletą tego rozwiązania jest łatwość usunięcia wychwytywanych pocisków, co niesie ze sobą szereg korzyści, takich jak:

- zmniejszenie ryzyka rykoszetu spowodowanego trafieniem pocisku w inny pocisk, zatrzymany wcześniej w kulochwycie;
- zmniejszenie ogólnej ilości ołowiu przedostającego się do środowiska naturalnego;
- zmniejszenie poziomu hałasu wywołanego uderzeniem pocisku w kulochwyt [11, 12].

Kulochwyty mobilne, dzięki możliwości łatwego ustawiania w różnych konfiguracjach, cieszą się coraz większym zainteresowaniem. Rozwiązanie to pozwala na prowadzenie specjalistycznych szkoleń strzeleckich, poprzez ustawianie kulochwyków na wzór pomieszczenia [10, 13]. Innym zastosowaniem materiałów pochodzących ze zużytych opon mogą być ściany osłon przeciwołamkowych w urządzeniach i systemach pomiaru parametrów detonacji ładunków wybuchowych [14].

Wiedza na temat zastosowań i skuteczności materiału gumowego na potrzeby wychwytywania pocisków [11, 13] była inspiracją do weryfikacji możliwości jego wykorzystania również w osłonach indywidualnych, chroniących przed nożem w bezpośrednim kontakcie. Ze statystyk policyjnych wynika,

- Lamella butts;
- Rubber granulate (embankment) butts;
- Mobile butts (movable).

The lamella butts are made both from the steel and rubber components. The rubber screens reduce the velocity of bullets and have the anti-ricocheting properties [10]. The rubber granulate butts are made in the form of embankments. The greatest advantage of the solution is the ease in removal of caught bullets what brings about such benefits as:

- Reduction of ricochetting risk, caused by a bullet hitting into another bullet which was earlier arrested in the butt;
- Reduction of total amount of the lead migrating into the natural environment;
- Reduction of the noise level caused by impacts of bullets into the butt [11, 12].

The mobile butts gain the increased popularity as they can be easily arranged in different configurations. The solution is used to carry out specialised training sessions by arranging the butts according with the pattern of rooms [10, 13]. The materials received from the waste tires can be also used for the walls of anti-fragmentation shields in devices and systems applied for measurement of detonation parameters of explosive charges [14].

The knowledge on applications and efficiency of rubber materials at catching the bullets [11, 13] was also an inspiration for possibilities of their employment in personal shields protecting against a knife direct contact. Police statistics show that only ca. 15% of injuries suf-

że jedynie ok. 15% doznawanych urazów w trakcie służby jest skutkiem użycia broni palnej, pozostałe są wynikiem ataku z użyciem noży lub tępych przedmiotów [15]. Skuteczną ochronę przed tego rodzaju zagrożeniami mogą zapewniać lekkie kamizelki (soft armour), w konstrukcji których wykorzystywane są np. tkaniny balistyczne [16, 17]. Celem badań empirycznych było wstępne sprawdzenie, jaka jest odporność próbek wykonanych ze zużytych opon samochodów osobowych na przekłucie bronią białą. Potrzeba do przeprowadzenia takich badań wynikała z poszukiwań materiałów spełniających wymagania odporności na przekłucie i mogących znaleźć zastosowanie we wkładach kamizelek kuloodpornych [18, 19]. Uzyskane wyniki mogą wskazać na zasadność dalszych, pogłębionych badań, dając odpowiedź czy zużyte opony mogą stanowić materiał do wykorzystania w konstrukcji indywidualnych osłon balistycznych, np. wkładek przeciwurazowych do kamizelek kuloodpornych, ochraniaczy, itp. Badania zostały przeprowadzone w oparciu o normę NIJ Standard–0115.00: Stab Resistance of Personal Body Armor wydaną przez Departament Sprawiedliwości Stanów Zjednoczonych, służąca do badania odporności na przekłucie [20].

Współczesne opony samochodowe stanowią skomplikowane wyroby, do budowy których wykorzystuje się wiele różnych materiałów: gumowych, tekstylnych i stalowych o wysokiej wytrzymałości [21]. Z punktu widzenia celu badania najważniejszym elementem zapobiegającym głębokim uszkodzeniom osnowy opony jest jej opasanie (rys. 1). Jego ważną składową jest warstwa zalanego gumą kordu stalowego o niciach ułożonych pod niewielkim kątem [22]. Drut stalowy może być odzyskiwany w procesie recyklingu zużytych opon [23].

fered at duties are caused by the use of firearms, whereas the remaining ones are the result of attacks with the use of knives or blunt objects [15]. Efficient protection against such threats can be provided by light soft armours using for instance in their structures the ballistic fabrics [16, 17]. Some empirical investigations were carried out for initial examination of the resistance against puncture by a white weapon for samples produced with the waste car tyres. Such investigations were needed at searching the materials meeting the requirements for resistance against stabbing and suitable for use as the inserts of bulletproof jackets [18, 19]. The obtained results would indicate if further detailed studies were substantiated to get the answer if the waste tyres could be used as material in designs of individual ballistic shields, e.g. injuries-preventing inserts for bulletproof jackets, and protectors, etc. Tests were performed on the base of standard NIJ Standard–0115.00: Stab Resistance of Personal Body Armor issued by the US National Department of Justice and applicable at testing the resistance against stabbing [20].

Car tyres currently produced are complicated articles made of many different materials: rubber, textiles, and steel of high resistance [21]. From the point of view of objectives of the investigation a wrapping is the most important component preventing deep damages of tyre carcass (Fig. 1). A layer of steel cord filled with the rubber, and containing the threads set at a low angle, is an important part of it [22]. The steel wire can be recovered in the process of worn tyres recycling [23].



**Rys. 1. Fragment opony radialnej z zaznaczonymi elementami dotyczącymi budowy:**

1 – warstwa butylowa (wewnętrzna),  
2 – osnowa (szkielet), 3 – drutowka,  
4 – wypełniacz, 5 – pasek wzmacniający,  
6 – owijka, 7 – ściana boczna,  
8 – opasanie, 9 – bandaż, 10 – bieżnik [22]

**Fig. 1. Fragment of radial tyre with marked structural components:**

1 – inner butyl layer,  
2 – carcass, 3 – wiring,  
4 – filler, 5 – strengthening belt,  
6 – wrapper, 7 – lateral wall,  
8 – band, 9 – bandage, 10 – tread [22]

Kord stalowy wytwarza się poprzez wyciąganie drutów do średnicy 0,2–0,5 mm, a następnie ich splatane. W efekcie uzyskuje się bardzo wytrzymałą i elastyczną warstwę opony o grubości nie większej niż 1 mm [24].

## 2. Metoda badawcza

Do przygotowania próbek do badań wybrano trzy rodzaje zużytych opon radialnych, pochodzących z samochodów osobowych: letnie, zimowe i sportowe, z których wykonano odpowiednio trzy rodzaje próbek. Do badań wybrano opony, które nie zostały w żaden sposób mechanicznie uszkodzone i nie miały żadnych defektów, takich jak przebicia, rozcięcia, pęknięcia, a wykazywały jedynie wysokie zużycie bieżnika. Opony poddano mechanicznemu przetworzeniu poprzez wycięcie prostokątnych fragmentów z czoła opony o możliwie zbliżonym układzie bieżnika. Każdy wycięty fragment stanowił jedną warstwę próbki. Następnie warstwy zostały ułożone jedna na drugiej, tak aby do siebie przylegały a wycięcia bieżnika dokładnie się pokrywały. Każda badana próbka składała się z trzech warstw tej samej opony. Minimalne wymiary próbek zostały ustalone w oparciu o wymagania norm, dotyczące minimalnych odległości punktu trafienia od krawędzi prób-

Steel cord is produced by drawing the wires of 0.2–0.5 mm diameter which are spliced next. In effect a highly resistant and elastic layer of tyre with thickness not exceeding 1 mm is obtained [24].

## 2. Testing Method

Three types of waste radial car tyres were used to prepare the samples for testing: summer, winter, and sports, and three types of samples were obtained. The tyres selected for testing were not damaged in any mechanical way and were without any defects such as punctures, notches, breaks, and represented only a high wear of the tread. The tyres were subject to mechanical transformation by cutting off rectangular fragments from the head of tyre with possibly similar patterns of the tread. Each cut off fragment created a single layer of the sample. In the next step each layer was put over the other to stick to each other and precisely cover the notches of the tread. Each tested sample comprised three layers of the same tyre. Minimal sizes of samples were established basing on standard requirements concerning minimal distances between the point of hitting and the sample edge, and between the points of hitting. All

ki oraz między punktami trafień. Wszystkie warstwy jednej próbki pochodziły z tej samej opony danego rodzaju. Szczegółowy opis poszczególnych próbek zawarto w tabeli 1.

layers of a single sample originated from the same tyre of a given type. Detailed description of particular samples is presented in table 1.

Tabela 1. Specyfikacja próbek użytych w badaniu odporności na przekłucie  
Table 1. Specification of samples used to test the resistance against stabbing

Rodzaj opony <i>Type of tyre</i>	Numer próbki <i>Number of sample</i>	Długość [mm] <i>Length</i>	Szerokość [mm] <i>Width</i>	Masa próbki [g] <i>Mass of sample</i>	Grubość pojedynczej warstwy próbki [mm] <i>Thickness of sample's individual layer</i>
Letnia <i>Summer season</i>	1	173	190	415	7,4
	2	170	190	406	7,6
	3	175	190	424	7,5
	4	172	190	410	6,9
	5	175	190	422	7,1
Zimowa <i>Winter season</i>	1	315	170	734	8,3
	2	290	170	691	8,5
Sportowa <i>Sports</i>	1	343	245	1071	7,2
	2	345	245	1086	7,2

Wszystkie próbki przed badaniem, zgodnie z wymaganiami normy NIJ Standard–0115.00, były kondycjonowane przez 12 godzin w komorze klimatycznej w ustalonych parametrach powietrza: temperaturze 21°C i wilgotności 50% wilgotności.

Stanowisko badawcze składało się z:

- urządzenia w postaci kolumny rzutowej, w której montowana jest głowica, służąca do umieszczenia noża na odpowiedniej, określonej wysokości i wykonania zrzutu;
- materiału podkładowego (ang. backing material), składającego się z warstwy materiałów o określonych parametrach, na których układa się arkusz papieru, a następnie badaną próbkę. Stosowany arkusz papieru ma na celu umożliwienie odczytania głębokości zagłębienia ostrza w materiale badawczym, poprzez pomiar powstałego nacięcia na jego powierzchni i przeliczenie jego długości według wytycznych zawartych w normie;

All samples before testing were kept in specific conditions, according with requirements of NIJ Standard–0115.00, at air temperature 21°C and humidity 50%.

Testing stand consisted of:

- a device in form of a dropping column housing an adapter for fixing a knife at suitable and specified height and execution of a drop;
- backing material containing a layer of materials with specified parameters accepting a sheet of paper on it followed by a tested sample. The sheet of paper is used to evaluate the depth of edge's penetration into the tested material by measurement of a cut created onto its surface and recalculating the cut's length according with guidelines included in the standard;
- optoelectronic device designed to measure the velocity of falling

- urządzenia optoelektronicznego, służącego do pomiaru prędkości zrzuconego noża, połączonego z komputerem i oprogramowaniem, które pozwalają na ustalenie energii noża uderzającego w próbkę.

Układ i elementy stanowiska do badań odporności na przekłucie przedstawiono na rys. 2.



**Rys. 2. Stanowisko do badań odporności na przekłucie**

*Fig. 2. Stand testing resistance against stabbing*

Dodatkowymi elementami wykorzystywanymi w badaniu były trzy rodzaje ostrzy, określonych przez normę NIJ Standard–0115.00 i imitujących trzy rodzaje broni:

- S1 – ostra broń reprezentująca duże wojskowe noże;
- P1 – ostra broń reprezentująca typowy mały nóż;
- kolec – ostra broń w kształcie szpi-

knife and connected to a computer with required software to establish the energy of the knife hitting the sample.

The arrangement and components of the stand are shown in Fig. 2.

**Rys. 3. Ostrza wykorzystywane do badania odporności na przekłucie wg NIJ Standard – 0115.00**  
**Kolec - Spike**



*Fig. 3. Edges used for testing resistance against stabbing according with NIJ Standard – 0115.00*

Three types of edges specified by the standard NIJ Standard–0115.00 were used as additional accessories at testing to imitate three types of weapons:

- S1 – sharp weapon representing large military knives;
- P1 – sharp weapon representing small knife;
- spike – sharp weapon representing

kulca, reprezentująca improwizowaną broń więzienną.

Opisane rodzaje ostrzy, przedstawiono na rysunku 3.

Norma NIJ Standard–0115.00 wymaga, aby przed przeprowadzeniem badania właściwego, dokonać sprawdzenia ostrości wykorzystywanych ostrzy oraz zapewnienia, aby zmierzona wartość mieściła się w określonym przedziale [25, 26], co zostało wykonane i potwierdzone.

Badania zostały przeprowadzone w następujących warunkach środowiskowych: temperatura 22 °C, wilgotność powietrza 63%. Każdą z próbek zamontowano kolejno na stanowisku pomiarowym tak, aby dokładnie przylegała do materiału podkładowego i ułożonego na nim arkusza papieru, bieżnikiem w kierunku ostrza. Na każdą z nich przeprowadzono określoną liczbę prostopadłych zrzutów, zachowując odległości między punktami trafień zgodnie z wymaganiami normy. Po każdym zrzucie odczytywano otrzymany wynik za pomocą suwmiarki z dokładnością 0,1 mm poprzez pomiar głębokości zagłębienia powstałego wskutek uderzenia. Dodatkowo uzyskany wynik porównywano z odczytem uzyskanym dla nacięcia na papierze sprawdzającym.

### 3. Wyniki badań

Do dalszej analizy uwzględniano jedynie wyniki tych zrzutów, których ślad w próbce powstawał wyraźnie w rzeźbie bieżnika (rowkach). Próby, których ślad powstał w górnej części bieżnika lub na granicy rowka i bieżnika były pomijane. Celem takiego zabiegu było maksymalne uwzględnienie oporów stwarzanych przez stalowy kord i eliminowanie oporów stawianych przez grubą warstwę gumowego bieżnika. W zależności od punktu trafienia różnice w zagłębieniu wynosiły nawet 7 mm. W przypadku, gdy uzyskany wynik zrzutu spełnił wymagania odporności na przekłucie

improvised weapon of prisoners.

Described types of edges are shown in Fig. 3.

The standard NIJ Standard–0115.00 specifies that before execution of the test the sharpness of edges has to be examined first, to ensure that the measured value falls within the specified range [25, 26], what was made and confirmed.

Tests were carried out at following environmental conditions: temperature 22 °C, air humidity 63%. Each sample was successfully fixed into the measurement stand, in a way securing exact adherence to basing material covered with the paper sheet, with the tread directed towards the edge. A specific number of vertical drops was performed onto each of them maintaining the distances between hitting points according with the standard specifications. The obtained result was measured by a slide gauge with accuracy of 0.1 mm by measuring the depth of a hollow created by the impact. Additionally, the obtained result was compared with the reading obtained from the notch on the examining paper.

### 3. Test Results

In further analysis there were considered only the results of such drops which left a distinct footprint on the sample's tread pattern (grooves). The trials which produced footprints in the upper part of the tread, or at the edge of the groove and tread were omitted. Such approach was aimed to take into account in maximal degree the resistance created by the steel cord and to eliminate the resistance produced by a thick layer of rubber tread. Depending on the hitting point, the differences in the hollows were even 7 mm. In the case when the obtained result of the



dla poziomu energii E1, wykonywano drugą próbę dla poziomu energii E2. Jeśli uzyskany wynik nie spełnił wymagań dla poziomu energii E1, kolejna próba nie była podejmowana. Dla ostrzy S1 i P1 zagłębienie zostało obliczone na podstawie pomiaru długości nacięcia w papierze i odczyt wartości zagłębienia w tabeli normy. Dla ostrza typu kolec wartość zagłębienia została określona na podstawie bezpośredniego pomiaru suwmiarką. Zestawienie wszystkich przeprowadzonych zrzutów i otrzymanych wyników przedstawiono w tabelach 2-4.

drop met the resistance requirements against stabbing for the energy level E1, a second trial was made for the energy level E2. If the obtained result missed the requirements for the energy level E1 then a next trial was not started. For edges S1 and P1 the deep of hollow was calculated from the standard table on the base of the notch length left onto the paper. For the edge of a spike type the value of hollow was determined by a direct slide gauge measurement. Specification of all performed drops and obtained results is presented in tables 2-4.

Tabela 2. Wyniki badań odporności na przekłucie próbek wykonanych z opony letniej

*Table 2. Results of tests against stabbing for samples made of summer season tyre*

Rodzaj ostrza <i>Type of edge</i>	Numer próbki <i>Number of sample</i>	Poziom ochrony <i>Protection level</i>	Poziom energii <i>Energy level</i>	Numer zrzutu <i>Numer of drop</i>	Prędkość [m/s] <i>Velocity</i>	Uzyskana energia [J] <i>Acquired energy</i>	Zagłębienie [mm] <i>Depth of hollow</i>
S1	1	1	E1	1	4,69	23,8	6 (+)
S1	1	1	E2	2	5,88	37,5	6 (+)
S1	2	2	E1	3	5,53	33,2	11 (-)
S1	2	3	E1	4	6,37	43,1	15 (-)
P1	3	1	E1	5	4,73	24,3	11 (-)
P1	4	2	E1	6	5,51	33,0	11 (-)
P1	4	3	E1	7	6,30	43,0	16 (-)
Kolec <i>Spike</i>	5	1	E1	8	4,45	21,5	44 (-)
Kolec	5	1	E1	9	4,50	22,2	48 (-)

Uwaga: (+) oznacza spełnienie normy odporności na przekłucie, (-) brak spełnienia normy

*Note: (+) means the fulfilment of the standard for stabbing resistance (-) default of standard fulfilment.*

Tabela 3. Wyniki odporności na przekłucie próbek wykonanych z opony zimowej

*Table 3. Results of tests against stabbing for samples made of winter season tyre*

Rodzaj ostrza <i>Type of edge</i>	Numer próbki <i>Number of sample</i>	Poziom ochrony <i>Protection level</i>	Poziom energii <i>Energy level</i>	Numer zrzutu <i>Numer of drop</i>	Prędkość [m/s] <i>Velocity</i>	Uzyskana energia [J] <i>Acquired energy</i>	Zagłębienie [mm] <i>Depth of hollow</i>
S1	1	1	E1	1	4,77	24,7	6 (+)
S1	1	1	E2	2	5,82	36,6	9 (+)
S1	1	2	E1	3	5,56	33,5	8 (-)
S1	1	3	E1	4	6,32	43,3	10 (-)
P1	2	1	E1	5	4,63	23,2	12 (-)
P1	2	3	E1	6	6,32	43,4	15 (-)
Kolec <i>Spike</i>	1	1	E1	7	4,50	22,2	31 (-)

Uwaga: jak w tabeli 2. / *Note: as in table 2.*

Tabela 4. Wyniki odporności na przekłucie próbek wykonanych z opony sportowej

Table 4. Results of tests against stabbing for samples made of sports tyre

Rodzaj ostrza <i>Type of edge</i>	Numer próbki <i>Number of sample</i>	Poziom ochrony <i>Protection level</i>	Poziom energii <i>Energy level</i>	Numer zrzutu <i>Numer of drop</i>	Prędkość [m/s] <i>Velocity</i>	Uzyskana energia [J] <i>Acquired energy</i>	Zagłębienie [mm] <i>Depth of hollow</i>
S1	1	1	E1	1	4,73	24,3	3 (+)
S1	1	1	E2	2	5,90	37,8	15 (+)
S1	1	2	E1	3	5,55	33,5	12 (-)
S1	1	3	E1	4	6,30	43,2	12 (-)
P1	2	1	E1	5	4,68	23,7	16 (-)
P1	2	2	E1	6	5,51	32,7	16 (-)
P1	2	3	E1	7	6,33	43,6	23 (-)
Kolec	1	1	E1	8	4,55	22,5	31 (-)

Uwaga: jak w tabeli 2. / Note: as in table 2

#### 4. Ocena wyników badań

W normie NIJ Standard–0115.00 wyróżniono 3 poziomy ochrony przed ostrzem, których charakterystyki zawarto w tabeli 5.

#### 4. Discussion of Test Results

Standard NIJ Standard–0115.00 distinguishes 3 levels of protection against the sharp edge specified in table 5.

Tabela 5. Poziomy ochrony przed ostrzem według NIJ Standard–0115.00

Table 5. Levels of protection against sharp edge according to NIJ Standard–0115.00

Poziom ochrony <i>Level of protection</i>	Poziom energii E1 <i>Level of Energy E1 [J]</i>	Dopuszczalne zagłębienie <i>Acceptable depth of penetration [mm]</i>	Poziom energii E2 <i>Level of Energy E2 [J]</i>	Dopuszczalne zagłębienie [mm] <i>Acceptable depth of penetration</i>
1	24 +/- 0,5	7	36 +/- 0,6	20
2	33 +/- 0,6	7	50 +/- 0,7	20
3	43 +/- 0,6	7	65 +/- 0,8	20

Dla każdego poziomu ochrony, norma NIJ Standard–0115.00 wymaga, aby na badany materiał został przeprowadzony zrzut ostrza na dwóch różnych poziomach energii. Pierwszy poziom energii, zwany E1, ma zagwarantować ochronę przed uszkodzeniem ważnych organów wewnętrznych. W tym przypadku dopuszczalne jest zagłębienie ostrza w badany materiał na głębokość nie większą niż 7 mm. Po wykonaniu testu dla poziomu energii E1 i spełnieniu warunku do-

Standard NIJ Standard–0115.00 requires that for each level of protection the drop of an edge is made at two different levels of energy. The first level of energy, named E1, warrants the protection against injuries for important inner organs. In this case, it is acceptable that the edge penetrates the tested material into the depth not greater than 7 mm. After execution of the test for E1 level of energy, and compliance with the acceptable depth of penetration,

puszczalnego zagłębienia należy powtórzyć rzut dla poziomu energii E2. Poziom energii E2 jest o 50% większy niż w przypadku E1, a dopuszczalne zagłębienie ostrza w badanym materiale wynosi maksymalnie 20 mm. Celem powtórzenia testu dla E2 jest zapewnienie odpowiedniego marginesu bezpieczeństwa przy projektowaniu osłony. Dla każdego rodzaju ostrza badania przeprowadza się osobno. Spełnienie wymogu poziomu ochronnego wymaga pozytywnego wyniku zagłębienia w materiale zarówno dla warunku energetycznego E1 jak i E2. W przypadku, w którym uzyskana energia przekracza dopuszczoną wartość, ale wynik spełnia warunek dopuszczalnego zagłębienia pomiar uznaje się za prawidłowy.

Próbki wykonane z opon letnich dla ostrza typu S1 wykazują odporność 1. poziomu ochrony, zarówno dla warunku energetycznego E1, jak i dla E2. Dla ostrza typu P1 oraz dla ostrza typu kolec wszystkie próby miały wynik negatywny.

Próbki wykonane z opon zimowych dla ostrza typu S1 wykazały odporność 1 poziomu ochrony dla E1 i dla E2. Dla poziomu 2 i 3 dla E1 właściwości próbek nie gwarantowało zagłębienia mniejszego lub równego 7 mm. Dla ostrza typu kolec wszystkie próby miały wynik negatywny. Takie same wyniki końcowe uzyskano w przypadku badań próbek wykonanych z opony sportowej. Pozytywne wyniki zanotowano jedynie dla ostrza typu S1 dla obu energii 1. poziomu ochrony. Generalnie w badaniach próbek każdej opony wraz ze wzrostem energii wzrastała wartość zagłębienia. W związku z tym za nieco zaskakujące należy uznać wyniki przedstawione w tab. 2 (rzut 1-2 i 5-6) oraz w tabeli 4 (rzut 5-6), gdzie pomimo wzrostu energii (o ok. 50%) wartość zagłębienia pozostała taka sama. Przyczyny takich wyników mogą być różne, w tym niejednorodność badanych pró-

the drop has to be repeated for the level of energy E2. The level of energy E2 is higher by 50% than in the case of E1, and the acceptable maximal depth of edge penetration into tested material is 20 mm. The aim of repeating the test for E2 is to safeguard an appropriate margin of safety at the designing of the shield. Tests are carried out separately for each type of edge. The compliance with the requirements of a protection level requires positive results of penetration depths into the material both for energy condition E1 and E2. In the case when the obtained energy exceeds the acceptable value, but the result meets the condition of acceptable depth of penetration, the measurement is recognised as correct one.

Samples prepared from the summer season tyres show protection level 1 for S1 type edge, both for energy condition E1 and E2. For P1 type edge and for the spike type edge all trials were negative.

Samples prepared from the winter season tyres show protection level 1 for S1 type edge both for E1 and E2. The characteristics of the samples have not warranted the lower or equal to 7 mm depth of penetration for levels 2 and 3 of E1. For the spike type edge all trials were negative. Identical final results were obtained for the samples prepared from sports tyres. Positive results were only observed for S1 type edge at two energies of level protection 1. In general, there was an increase of the penetration depth with the increase of energy at tests of samples of each tyre. Regarding the above, it seems to be a surprising question that results presented in table 2 (drop 1-2 and 5-6) and in table 4 (drop 5-6) indicate the same value of penetration depth despite the increased energy (by ca. 50%). There may be different reasons of

bek, wynikająca zarówno w intensywnego procesu eksploatacji opon, jak również zachodzących procesów starzenia materiałów. Przyczyną mogły być również przypadkowe błędy popełnione w trakcie badań. Ze względu na to, że wyniki te nie wpływały znacząco na osiągnięcie zakładanego celu i końcowe wnioski, nie przeprowadzono głębszej analizy tych zdarzeń.

## 5. Wnioski

Wszystkie badane próbki pobrane z opony letniej, zimowej i sportowej spełniły wymogi 1. poziomu odporności na przekłucie według NIJ Standard–0115.00 dla ostrza typu S1 imitującego duży nóż wojskowy. Dla pozostałych dwóch rodzajów ostrzy (typowy mały nóż i szpikulec) żadna z badanych próbek nie spełniła wymogów nawet najniższego, pierwszego poziomu. Żadna z badanych próbek nie zapewniała 2 i 3 poziomu odporności. Dla każdego rodzaju opony końcowe wyniki badań były bardzo podobne, zatem niezależnie od rodzaju opony ich poziom odporności jest zbliżony.

Podsumowując i uogólniając uzyskane wyniki, zapewniające spełnienie wymagań odporności na przekłucie tylko na najniższym poziomie i jedynie w przypadku ostrza imitującego duży nóż wojskowy można stwierdzić, że materiał ze zużytych opon mógłby mieć bardzo ograniczone zastosowanie w konstrukcji indywidualnych osłon balistycznych wykorzystywanych przez wojsko i formacje bezpieczeństwa wewnętrznego.

such results like inhomogeneities of tested samples effected both by the intense process of tyres use and running processes of materials ageing. Casual errors occurring at testing could also be a reason of it. More detailed analysis of these incidents was not carried out as these results have insignificant impact on achievement of assumed objectives and on final conclusions.

## 5. Conclusions

All investigated samples made from the summer, winter and sports tyres met the requirements of level 1 for resistance against stabbing according with NIJ Standard–0115.00 for S1 type edge imitating a large military knife. For the remaining two types of edges (typical small knife and spike) none of tested samples complied even with the requirements of the lowest level 1. None of tested samples provide 2 and 3 level of resistance. For each type of tyre the final results were very similar and therefore they represent similar level of resistance independently on the type of tyre.

Summing the above in general, as the received results show that the requirements of resistance against stabbing can be met only on the lowest level, and only in the case of the edge imitating a large military knife, it can be stated that material of waste tyres could be applied in very limited degree in designs of individual ballistic armours used by the military and by the structures of internal security.

## Literatura / Literature

- [1] J. Gronowicz, T. Kubiak, „Recykling zużytych opon samochodowych”. *Problemy Eksploatacji*, nr 2, 2007: 5-18.
- [2] D. Subhashish, G.T.N. Veerendra, P.S.S. Anjaneya Babu, A.V. Phani Manoj, K. Nagarjuna, „Degradation of Plastics Waste and Its Effects on Biological Ecosystems: A Scientific Analysis and Comprehensive Review”. *Biomedical Materials & Devices*, vol. 2, 2024: 70-112. DOI:

- 10.1007/s44174-023-00085-w.
- [3] S. Dabic-Miletic, V. Simic, S. Karagoz, „End-of-life tire management: a critical review”. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, 2021: 68053–68070. DOI: 10.1007/s11356-021-16263-6.
- [4] Zheng Xiao, A. Pramanik, A.K. Basak, C. Prakash, S. Shankar, „Material recovery and recycling of waste tyres-A review”, *Cleaner Materials*, vol. 5, 2022. DOI: 10.1016/j.clema.2022.100115.
- [5] H. Afash, B., Ozarisoy, H. Altan, C. Budayan, „Recycling of Tire Waste Using Pyrolysis: An Environmental Perspective”. *Sustainability*, vol. 15(19), 2023, 14178. DOI: 10.3390/su151914178.
- [6] G. Przydatek, G. Budzik, M. Janik, „Effectiveness of selected issues related to used tyre management in Poland”. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, 2022: 31467–31475. DOI: 10.1007/s11356-022-18494-7.
- [7] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (tj. Dz. U. z 2023 r. poz. 1587 z późn. zm.).
- [8] F. Belabelouahab, H. Trouzine, „Research and Enhancement of Used Tyres, Such as Material Innovative in Algeria”. *Physics Procedia*, vol. 55, 2014: 68-74. DOI: 10.1016/j.phpro.2014.07.011.
- [9] E.D, Smith, S. Leasure, „Tire mire”, *Waste Age*, vol. 36(5), 2005.
- [10] „Płyty antyrykoszetowe i kulochwyty”, Materiał informacyjny firmy Tebbex, <https://tebbex.pl/wp-content/uploads/2019/03/3-Ulotka-P%C5%81YTYANTYRYKOSZETOWE-I-KULOCHWYTY.pdf> [dostęp 15.09.2023].
- [11] P. Sidelnik, M. Bogajczyk, B. Kozera, W. Stępnik, „Analiza problemów wynikających z eksploatacji strzelnic garnizonowych”. *Problemy Techniki Uzbrojenia*, nr 132(4), 2014: 41-46.
- [12] O. Kärki, „Bullet Recovery in Shooting Ranges: Marine Container Concept”, Environmental Engineering Thesis, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. 2016. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/119590/Karki\\_Olli.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/119590/Karki_Olli.pdf?sequence=1) [dostęp 15.04.2024].
- [13] „Kulochwyty mobilne”, Materiał informacyjny firmy KLIMAWENT S.A., <https://mostrange.pl/wp-content/uploads/2024/03/jpg2pdf-24.pdf> [dostęp 15.03.2024].
- [14] I. Mazur, P. Kasprzak, W. Pniewski, „Prace badawcze dotyczące wyznaczania stref bezpieczeństwa opracowanych na podstawie badań eksperymentalnych”. *Przegląd Policyjny*, nr 4(152), 2023: 5-21. DOI: 10.5604/01.3001.0054.4301.
- [15] W. Cook, „Kamizelka ochronna zaprojektowana na miarę współczesnego funkcjonariusza policji”. *Techniczne Wyroby Włókiennicze*, 2008: 50-53.
- [16] T-T.N. Nguyen, G. Meek, J. Breeze, S.D. Masouros, „Gelatin Backing Affects the Performance of Single-Layer Ballistic-Resistant Materials Against Blast Fragments”. *Frontiers in Bioengineering Biotechnology*, vol. 8, 2020, 744. DOI: 10.3389/fbioe.2020.00744.
- [17] T-T.N. Nguyen, H. Tsukada, J. Breeze, S.D. Masouros, „The Critical Role of a Backing Material in Assessing the Performance of Soft Ballistic Protection”. *Human Factors and Mechanical Engineering for Defense and Safety*, vol. 6, no. 13. 2022. DOI: 10.1007/s41314-022-00052-1.
- [18] D. Pacek, R. Gieleta, „The fluid-based structure for human body impact protection”, *Journal of Physics: Conference Series*, 1507(3), march 2020, 032016. DOI: 10.1088/1742-6596/1507/3/032016.
- [19] D. Pacek, J. Rutkowski, „The composite structure for human body impact protection”. *Composite Structures*, vol. 265, june 2021, 113763. DOI: 10.1016/j.compstruct.2021.113763.
- [20] National Institute of Justice Office of Science and Technology. „Compliant Armor: Body Ar-

- mor that Complies With NIJ Stab Resistance Standard”, 0115.00, 2000. Washington DC 20531.
- [21] J. Małachowski, „Numerical study of tires behaviour”. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, nr 14(3), 2007, 376-384.
- [22] S. Bęczkowska, J. Korzeb, S. Koziak, M. Opala, A. Weysenhoff, „Niejednorodność i wady materiałowe opon samochodów osobowych – zagadnienia wybrane”. *WUT Journal of Transportation Engineering*, nr 121, 2018: 9-20. DOI: 10.5604/01.3001.0014.4550.
- [23] Ł. Szypuła, B. Zdonek, „Recykling złomu kordu drutu z zużytych opon samochodowych w produkcji stali”, *Prace Instytutu Metalurgii Żelaza*, nr 3, 2015: 34-41.
- [24] K. Piotrowska, A. Tomporowski, I. Piasecka, „Ekoinnowacje opon samochodowych”. Politechnika Lubelska, Lublin 2020.
- [25] D. Sokołowski, W. Barnat, „Numerical and Experimental Research on the Impact of the Twaron T750 Fabric Layer Number on the Stab Resistance of a Body Armour Package”. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, vol. 24, no. 1(115), 2016: 78-82. DOI: 10.5604/12303666.1172090.
- [26] D. Sokołowski, W. Barnat, „Przegląd norm w kontekście nożoodporności pakietów balistycznych”. *Logistyka*, nr 5, 2015. CD 1: 1427-1438.

