



**ANALIZA WPŁYWU OBRÓBKIE CIEPLNEJ I MECHANICZNEJ
NA FRAGMENTACJĘ 120 MM ODŁAMKOWO-BURZĄCYCH
POCISKÓW MOŹDZIERZOWYCH.
CZĘŚĆ II - BADANIA BALISTYCZNE FRAGMENTACJI SKORUP
POCISKÓW MOŹDZIERZOWYCH**

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF HEAT AND MECHANICAL
TREATMENT ON THE FRAGMENTATION OF 120 MM
HIGH-EXPLOSIVE MORTAR SHELLS.
PART II – BALLISTIC TESTS ON FRAGMENTATION
OF MORTAR PROJECTILES SHELLS**

Michał ORŁOWSKI, orlowskim@witu.mil.pl

Witold DROZD, drozdw@witu.mil.pl

Paweł SWEKLEJ, sweklejp@witu.mil.pl ORCID: 0000-0002-5794-8906

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, ul. Pr. St. Wyszynskiego 7, 05-220 Zielonka
Military Institute of Armament Technology, 7 Wyszynskiego St., 05-220 Zielonka, Poland

Mariusz MAGIER, mariusz.magier@pw.edu.pl, ORCID: 0000-0002-4431-9537

Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Technologiczny
Warsaw's University of Technology, Mechanic Faculty of Technology

DOI 10.5604/01.3001.0054.7455

Streszczenie: Celem badawczym w pracy było określenie wpływu obróbki termicznej i plastycznej na fragmentację 120 mm pocisków do moździerza samobieżnego Rak na podstawie wyników badań dynamicznych fragmentacji skorup pocisków i pomiaru ilości odłamków w poszczególnych grupach masowych. Głównymi zagadnieniami w pracy, które zostały poruszone to wymagania taktyczno-techniczne jakie muszą spełniać naboje moździerzowe typu HE (high explosive), skupiając się na właściwościach wpływających na zachodzenie procesu fragmentacji pocisków tj. zastosowany materiał na skorupę oraz materiał wybuchowy. W celu uzyskania odpowiednich danych umożliwiających przeprowadzenie analizy wynikającej z tematu pracy konieczne było przeprowadzenie badań na przygotowanych obiektach badawczych. Część badawcza obejmuje przeprowadzone badanie balistyczne fragmentacji skorup pocisków typu HE, które wykonano z trzech rodzajów materiałów oraz poddane zostały zróżnicowanym parametrom obróbki cieplnej w czasie trwania procesu ich wytwarzania. Otrzymane wyniki badań balistycznych fragmentacji pocisków moździerzowych posłu-

Abstract: The research goal of the work was to determine the influence of thermal and mechanical processing on the fragmentation of 120 mm projectiles for the Rak self-propelled mortar based on the results of dynamic tests on the fragmentation of projectile shells and measuring the number of fragments in individual mass groups. The main issues raised in the work are the tactical and technical requirements that must be met by HE (high explosive) mortar rounds, focusing on the properties influencing on the fragmentation process of the projectiles, i.e. the material of the shell and the explosives. In order to obtain appropriate data to be studied in the work, it was necessary to test prepared research objects. Testing part includes a ballistic examination of the fragmentation of HE projectile shells, which were made of three types of materials and were subjected to various heat treatment parameters during the production process. The obtained results of ballistic fragmentation tests of mortar shells were used

żyły do analizy i umożliwiły porównanie charakterystyk fragmentacji między pociskami wykonanymi z różnych materiałów i poddany procesom obróbki cieplnej. W części II przedstawiono badania balistyczne fragmentacji skorup pocisków moździerzowych i analizę uzyskanych wyników.

Słowa kluczowe: fragmentacja, skorupa, pocisk odłamkowo-burzący

1. Wstęp

Ciągłemu unowocześnianiu wojsk towarzyszy modernizacja i wprowadzanie nowych rozwiązań w zakresie używanej amunicji, która spełnia co raz to bardziej skomplikowane wymagania taktyczno-techniczne i cechuje się większymi zdolnościami rażenia obszaru celu [1-3]. W praktyce działanie naboju moździerzowego z pociskiem odłamkowo-burzącym ma zamiar maksymalnego zwiększenia skuteczności na polu walki poprzez zrównoważone występowanie fali uderzeniowej powstałej podczas wybuchu i energii kinetycznej powstałych odłamków w danym polu rażenia. Tego rodzaju pocisk jest zaprojektowany do zadawania obrażeń sile żywej i uszkodzania sprzętu i lekko opancerzonych celów poprzez kombinację efektu siły wybuchu oraz rozprzestrzeniających się odłamków. W celu osiągnięcia założonych efektów potrzebne jest uzyskanie odpowiedniej energii wybuchu, która zapewni pożądany przebieg procesu fragmentacji pocisku. W dużym stopniu zależy to od zastosowanego materiału na skorupę pocisku odłamkowo-burzącego. Skorupa wykonana z materiałów charakteryzujących się większą wytrzymałością oraz twardością może ulegać bardziej skomplikowanej fragmentacji, polegającej na wytworzeniu większej ilości odłamków o stosunkowo małej wielkości. Grubość ścianek skorupy pocisków moździerzowych o charakterze działania odłamkowo-burzącym z reguły wynosi od 1/8 do 1/7 kalibru. Ważnymi czynnikami wpływającymi na przebieg procesu fragmentacji są: zastosowany

for analysis and enabled comparison of fragmentation characteristics between shells made of different materials and subjected to heat treatment processes. Part II presents ballistics tests on the fragmentation of mortar shells and the analysis of the obtained results.

Keywords: fragmentation, shell, high-explosive projectile

1. Introduction

Continuous modernisation of the military is accompanied by the upgrading and introduction of new solutions for the used ammunition, which complies with more and more complicated tactical-technical requirements and is characterised by increased capabilities of hitting the area of a target [1-3]. In practice, the action of mortar cartridge with the high explosive projectile is intended to increase in maximal degree the efficiency in the battlefield by balanced employment of blasting wave produced by explosion and kinetic energy of fragments present in hitting zone. Such projectile is designed to inflict injuries to the live force and damages to the equipment and light armoured targets by a combination of effects of explosion and spreading out fragments. Assumed effects can be achieved at a suitable power of explosion providing demanded process of projectile fragmentation. It depends on great degree on the material used for the shell of high-explosive projectile. When the shell is made of materials characterised by a higher strength and hardness it may be subjected to more complicated fragmentation producing greater number of relatively small fragments. Thickness of shell walls in mortar projectiles with high-explosive effect usually falls between 1/8 to 1/7 of calibre. Applied explosive material and the coefficient of filling connected with

materiał wybuchowy oraz związany z nim współczynnik napełnienia. Stosowane substancje na materiały wybuchowe o właściwościach zapewniających wysoką siłę detonacji takie jak heksogen (RDX) oraz trinitrotoluen (TNT), mogą generować wysoką energię podczas wybuchu, co jednoznacznie przekłada się na zachodzący proces fragmentacji pocisku. Natomiast współczynnik napełnienia określa stosunek masy materiału wybuchowego znajdującego się w pocisku do masy całkowitej pocisku [4-5].

Przeprowadzenie badania balistycznego fragmentacji pocisku odłamkowo-burzącego jest ważne w kontekście zrozumienia charakterystyki działania tego typu amunicji. Przed wprowadzeniem jej do użytkowania należy bowiem ocenić jej skuteczność i bezpieczeństwo dla personelu. Ocena skuteczności rażenia celu powstającymi podczas detonacji odłamkami jest istotną kwestią w kontekście późniejszego jego zastosowania na polu walki. Badanie pozwala na określenie rodzaju, kształtu i rozmiaru odłamków jakie powstają w procesie detonacji pocisku. Również ważnym parametrem określanym podczas badań balistycznych fragmentacji jest określenie obszaru, w którym odłamki skutecznie są w stanie zadawać obrażenia. Wyniki z przeprowadzonego badania fragmentacji pocisków w przypadku pojawiających się niezgodności ze wcześniejszymi założeniami mogą posłużyć konstruktorom do zoptymalizowania konstrukcji skorupy pocisku w celu uzyskania pożądaných efektów fragmentacji.

Podsumowując, przeprowadzenie badania balistycznego fragmentacji pocisku o charakterze działania odłamkowo-burzącym jest istotne w celu zapewnienia oczekiwanej skuteczności według założonych wymagań, zgodności z normami dla tego rodzaju amunicji oraz bezpieczeństwa dla personelu. Wyniki możliwe do uzyskania z przeprowadzenia tego badania pełnią kluczową rolę podczas opracowywania nowej amunicji oraz wprowadzania ulepszeń w tej już obowiązującej.

it are the important factors influencing on the course of fragmentation process. The substances applied as the explosive material, such as hexogen (RDX) and trinitrotoluene (TNT), provide high energy of detonation what can be directly translated into the running process of projectile fragmentation. The coefficient of filling describes the ratio of the mass of explosive material inside the projectile to the total mass of projectile [4-5].

Execution of a ballistic test on fragmentation of the high-explosive projectile is important for understanding operational performance of such ammunition. Its efficiency and safety for the personnel have to be evaluated before entering into the service. Evaluation of the target striking efficiency by fragments produced at detonation is an essential question for later application on the battlefield. The test can identify the type, shape and size of fragments produced at projectile's detonation. Identification of a zone where the fragments can efficiently inflict injuries is also an important parameter established at ballistic fragmentation tests. In the case of incompliance with earlier specifications the results of conducted projectile fragmentation tests may be used by the designers for optimisation of the shell construction to obtain demanded effects of fragmentation.

Summing up the above, the execution of the ballistic fragmentation test for projectile with high-explosive effect is essential to safeguarding the efficiency expected in the specifications, and the compliance with standards for this type of ammunition, and the safety of personnel. The results which can be obtained with such test are of a key importance for development of new ammunition and introduction of improvements for ammunition in service.

2. Badanie balistyczne fragmentacji skorup pocisków moździerzowych

2.1. Przeprowadzenie wzorcowego badania fragmentacji wybranej skorupy pocisku moździerzowego

W celu przedstawienia przebiegu badania balistycznego fragmentacji wybranych skorup pocisków o charakterze działania odłamkowo-burzącym proces przeprowadzenia badania zostanie omówiony na przykładzie jednego z badanych obiektów. Badanym obiektem była skorupa pocisku kalibru 120 mm wykonana z żeliwa. Badanie dynamiczne przeprowadzone zostało w Ośrodku Badań Dynamicznych Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia w Stalowej Woli. Badanie balistyczne fragmentacji skorupy pocisku zostało przeprowadzone według wytycznych Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia zawartych w procedurze badawczej o numerze LBP.PB.5 dotyczącej „Wytrzymałość, funkcjonowanie i niezawodność działania amunicji oraz uzbrojenia i sprzętu wojskowego. Dokumentem odniesienia zawierającym specyficzne definicje związane z procedurą jest instrukcja stanowiskowa dotycząca stanowiska do badań fragmentacji pocisków i głowic. Do badań wykorzystano stanowisko w skład, którego wchodzi: stalowy korpus komory detonacyjnej, pokrywa stalowa, zapalarka elektryczna z okablowaniem, sito do przesiewania oraz chwytaki magnetyczne.

W pierwszym kroku badania balistycznego fragmentacji skorupy pocisku moździerzowego należało zabezpieczyć badaną skorupę pocisku oraz zapalnik elektryczny (rys.1.) za pomocą, którego zostało zainicjowane działanie materiału wybuchowego pocisku.

2. Ballistic Fragmentation Test on Mortar Projectile Shells

2.1. Execution of Referential Ballistic Fragmentation Test on Selected Shell of Mortar Projectile

The process of testing will be presented basing on an example of one of tested objects to illustrate ballistic fragmentation tests for selected shells of projectiles with high-explosive effect. A shell of 120 mm projectile made of the cast iron was the tested object. Dynamic test was carried out in the Centre of Dynamic Tests of the Military Institute of Armament Technology in Stalowa Wola. The ballistic fragmentation test of projectile shell was carried out according with the guidelines of the Military Institute of Armament Technology included in the testing procedure No LBP.PB.5 concerning „Strength, Functionality and Reliability of Ammunition, and Ordnance and Military Equipment Operation. Instruction of the testing site concerning the setup dedicated for testing fragmentations of projectiles and warheads is a reference document containing specific definitions connected with the procedure. The used setup consisted of steel frame of a detonating chamber, steel covering cap, electric igniter with cabling, a sieve for sieving, and magnetic catchers.

In the first step of ballistic mortar projectile shell fragmentation test, the tested projectile shell had to be safeguarded together with an electric detonator (Fig.1.) used for initiation of projectile's explosive material.



Rys. 1. Skorupa pocisku typu HE i zapalnik elektryczny ERG

Fig. 1. Shell of HE projectile and electric fuse ERG

W następnym kroku należało przygotować obszar do przeprowadzenia badania, który zapewni bezpieczeństwo osób wykonujących oraz możliwość uzyskania pożądaných wyników. Proces detonacji skorupy pocisku został przeprowadzony w stalowej beczce umieszczonej w ziemi. Zastosowana beczka (rys. 2) charakteryzowała się 3 m średnicy oraz 2 m wysokości.

In the next step an area had to be prepared for testing to provide the safety of involved personnel and conditions for obtaining expected results. Process of shell detonation took place inside a steel barrel buried in the ground. The applied barrel (Fig. 2) was characterised by diameter of 3 m and height of 2 m.

Rys. 2. Stalowa beczka zaprojektowana w celu przeprowadzania badań fragmentacji pocisków

Fig. 2. Steel barrel designed for testing fragmentation of projectiles



W środkowej części beczki umieszczone zostały dwie kartonowe tuby. Pierwsza o średnicy 400 mm i wysokości 2 000 mm, a druga o średnicy 1 800 mm i wysokości 2 400 mm. Wolna przestrzeń pozostająca pomiędzy kartonowymi tubami wypełniona została piachem kwarcowym o ziarnistości do 2 mm (rys. 3).

In the central part of the barrel two cardboard tubes were placed. The first one with 400 mm diameter and 2 000 mm height, and the second one with 1 800 mm diameter and 2 400 mm height. Free space between the cardboard tubes was filled with quartz sand with grains to 2 mm (Fig. 3).

Pocisk wraz z zapalnikiem umieszczony został w pozycji pionowej we wnętrzu mniejszej tuby, a przewód zapalnika wyprowadzony górną częścią tuby na zewnątrz stalowej beczki. Górna część mniejszej tuby została przy-

The projectile and fuse were placed in vertical position inside the smaller tube and the wire of the fuse was led out via the upper part of tube outside the steel barrel. The top part of smaller tube was covered by a

kryta płytą wykonaną ze sklejki o wymiarach 500x500 mm, a następnie większa tuba wypełniona została piachem wyrównując poziom wypełnienia przestrzeni pomiędzy tubami z wysokością większej kartonowej tuby (rys. 4).



Rys. 4. Kolejny etap przygotowywania obiektu do przeprowadzenia badania fragmentacji

Fig. 4. Consecutive stage of object's preparation for testing the fragmentation

Następnie całość przykryta została stalową płytą wzmocnioną dwuteownikami w celu zapobiegnięcia wydostania się ze stalowej beczki odłamków w czasie detonacji pocisku (rys. 5).



plywood plate with the size 500x500 mm, and next the larger tube was filled with the sand levelling the filling surface between the tubes to the height of the larger cardboard tube (Fig. 4).

Rys. 3. Stalowa beczka wypełniona piachem i przygotowanym miejscem do umieszczenia pocisku

Fig. 3. Steel barrel filled with sand and a place prepared for the projectile



And next, the entire structure was covered by a steel plate strengthened by tee bars in order to prevent the fragments get out of the steel barrel at detonation of projectile (Fig. 5).

Rys. 5. Stanowisko do badania fragmentacji gotowe do przeprowadzenia detonacji

Fig. 5. Fragmentation testing setup ready for detonation

Następnym krokiem było zainicjowanie procesu detonacji pocisku odłamkowo-burzącego za pomocą przyrządu elektronicznego połączonego z zapalnikiem poprowadzonym miedzianym przewodem (rys. 6).

Rys. 6. Efekt detonacji pocisku na stanowisku do badania fragmentacji

Fig. 6. Effect of projectile detonation on the fragmentation testing setup

W celu odnalezienia powstałych odłamków skorupy pocisku po przeprowadzeniu procesu detonacji należało oddzielić odłamki skorupy pocisku od piachu kwarcowego i powstałych odpadów ze sklejk i tektury (rys. 7).



Proces pozyskiwania odłamków polegał na przepuszczaniu przez sita o różnej wielkości oczek wydobywanej zawartości stalowej beczki. W celu zwiększenia skuteczności, a co za tym idzie liczby odzyskanych odłamków użyto również chwytaków magnetycznych.

Podczas analizy procesu fragmentacji skorupy pocisku dokonano podziału odłamków na

In the next step the detonation of high-explosive projectile was initiated by means of an electronic device connected with the fuse via copper wire (Fig. 6).



Fragments of the projectile shell produced after detonation were separated from the quartz sand and the waste created from the plywood and cardboard (Fig. 7).

Rys. 7. Odzyskane odłamki skorupy pocisku po przeprowadzeniu badania fragmentacji

Fig. 7. Fragments of projectile shell recovered after fragmentation testing

The process of recovering the fragments was based on forcing the material taken out of the steel barrel through the sifters with different sieve meshes. The magnetic catchers were also used to increase the fragments recovery efficiency.

Analysing the process of projectile shell fragmentation the fragments were divided in-

odpowiednie grupy masowe. Przydzielenie odłamków do danej grupy masowej wymagało zważenia każdego z powstałych odłamków (tabela 1, 2). W celu dokonania dokładnego ważenia należało również starannie odczyścić odłamki z drobin piasku, które mogłyby zaburzyć wyniki pomiarów.

to respective mass groups. Assignment of the fragments into a specific mass group required the weighting of each of produced fragments (Table 1, 2). The accurate weighting demanded a careful cleaning of the fragments from the sand grains which could disturb the measurement results.

Tabela.1. Wyniki uzyskane z badania fragmentacji wybranej skorupy pocisku typu HE
Table.1. Results obtained with testing the fragmentation of selected HE projectile shell

Grupa masowa [g] <i>Mass group</i>		Waga [g] <i>Weight</i>	Liczba odłamków [szt.] <i>Number of fragments</i>	Średnia waga [g] <i>Average weight</i>	% masy <i>% of mass</i>
G0	< 0,18	509,79	4766	0,11	5,3
G1	0,18 - 0,32	340,20	1293	0,26	3,6
G2	0,32 - 0,56	589,65	1212	0,49	6,2
G3	0,56 - 1	875,13	1118	0,78	9,1
G4	1 - 1,8	1095,36	792	1,38	11,4
G5	1,8 - 3,2	1645,75	680	2,42	17,2
G6	3,2 - 5,6	1888,55	456	4,14	19,7
G7	5,6 - 10	1613,27	225	7,17	16,9
G8	10 - 18	532,87	42	12,69	5,6
G9	> 18	476,42	4	119,11	5,0
Total		9566,99	10588		100,0

Tabela. 2. Stosunek wagowy odzyskanych odłamków żeliwnej skorupy pocisku typu HE
Table. 2. Weight ratio of fragments recovered from the HE projectile iron cast shell

Stosunek wagowy odnalezionych odłamków do początkowej masy skorupy z żeliwa <i>Weight ratio of recovered fragments to the initial mass of the iron cast shell</i>	
według grup masowych <i>According to mass groups</i>	całość wraz z częścią niepoliczalną <i>Totality with the uncountable portion</i>
94%	95%

Analizując dane przedstawione w tabeli 2 zauważyć można, że stosunek wagowy odnalezionych odłamków do początkowej masy skorupy wynosi 95%. Wynik ten potwierdza skuteczność i dokładność metody przeprowadzenia badania balistycznego fragmentacji skorupy pocisku odłamkowo-burzącego.

Analysis of data presented in table 2 shows that the weight ratio of found fragments against the initial mass of the shell is 95%. The result confirms the efficiency and accuracy of conducted ballistic test on fragmentation of high-explosive projectile shell.

2.1. Analiza wyników badań fragmentacji wybranych skorup pocisków moździerzowych wykonanych z różnych stopów stali o zmiennej temperaturze odpuszczania

Jak już wcześniej wspomniano dotychczas znajdujące się na wyposażeniu w Wojsku Polskim 120 mm naboje moździerzowe z pociskiem odłamkowo-burzącym OF-843B nie zapewniają pożądanych parametrów ogniowych odpowiadającym współczesnemu polu walki. W celu wykorzystania tej amunicji w moździerzu samobieżnym Rak potrzebna jest ich modernizacja, która obejmuje głównie konstrukcję okucia współpracującego z automatycznym systemem wieżowym Raka. Podstawową wadą omawianej amunicji jest donośność nie przekraczająca 8 km. Poprawa zasięgu amunicji jest ograniczona wytrzymałością skorupy na ciśnienie panujące w przewodzie lufy podczas wystrzału. Donośność zależy od odpowiedniej prędkości wylotowej pocisku z lufy, której warunkiem koniecznym jest osiągnięcie wysokiego ciśnienia. Osiągnięcie założonych parametrów bojowych nowoczesnego moździerza samobieżnego zainicjowało potrzebę opracowania nowej amunicji. Nowy nabój typu HE elaborowany jest materiałem TNT, a jego skorupa wykonana została ze stali. Docelowa amunicja do systemu moździerzowego Rak-a przewiduje opracowanie pocisku odłamkowo-burzącego elaborowanego mało wrażliwą mieszanką materiału wybuchowego K-43. Minimalizuje on skutecznie ryzyko niezamierzonej detonacji pocisku przez co zmniejszone może zostać zagrożenie dla załogi obsługującej moździerz Rak. Mało wrażliwy materiał wybuchowy na bodźce cieplne, mechaniczne i ciśnieniowe zachowuje porównywalne parametry energetyczne do opanowanej już mieszanki trotylu. Zastosowanie nowego materiału wybuchowego wymusiło również wykonanie szeregu badań sprawdzających amunicję wobec

2.1. Analysis of Fragmentation Testing Results for Selected Shells of Mortar Projectiles Made of Various Steel Alloys with Changed Temperatures of Tempering

As it was earlier mentioned, 120 mm mortar cartridges with high-explosive projectile OF-843B used now by the Polish Military do not provide firing parameters demanded by the contemporary battlefield. Their upgrading, including mainly the fitting working together with the Rak's automatic turret system, is needed in order to use the ammunition in the self-propelled mortar Rak. The range of discussed ammunition is below 8 km what is its main disadvantage. Improvement of ammunition range is limited by the resistance of the shell against the pressure existing in the barrel bore at firing. The range depends on a suitable muzzle velocity of projectile which may be achieved at high pressure. The achievement of assumed combat performance by the modern self-propelled mortar has launched a demand for development of new ammunition. New HE cartridge is elaborated with TNT material and its shell was made of steel. It is expected that perspective ammunition for the Rak mortar system will be elaborated with explosive material K-43 of low sensitivity. It efficiently minimises the risk of unintended detonation of projectile what reduces the threat for the Rak mortar crew. The explosive material of low sensitivity to stimulation of a thermal, mechanical and pressure character provides similar energetic parameters as already used composition of trotyl. Application of the new explosive material has also enforced the execution of a series of tests for checking the ammunition against the requirements which are to be met by

wymagań jakie stawiane są dla pocisków moździerzowych typu HE. Jednym z parametrów określających skuteczność danego pocisku jest odpowiednia fragmentacja. Skuteczność odłamków definiowana jest w stosunku do rodzaju celów, które są nimi rażone. Zgodnie z założeniami taktyczno-technicznymi dla pocisków RAK-HE-1 jako zasadniczy cel przeznaczony do niszczenia jest siła żywa. W stosunku do odkrytej siły żywej jako odłamek skuteczny przyjmuje się odłamek, którego energia kinetyczna w momencie uderzenia w cel wynosi $E_k \geq 80\text{J}$, a jego minimalna masa powinna wynosić $m \geq 0,5\text{ g}$. Do badania odporności na przebicie lekkich osłon pancernych (hełmy, kamizelki kuloodporne) używane są tzw. odłamki standardowe, których masa wynosi ok. 1,1 g. W związku z tym podczas analizy procesu fragmentacji pocisków należy wyróżnić również liczbę odłamków o masie $m \geq 1\text{ g}$. W celu dostosowania przebiegu zachodzącego procesu fragmentacji podczas detonacji pocisku materiałem wybuchowym K-43 należało przeprowadzić badania skorup pocisków wykonanych z różnych materiałów o odpowiednich parametrach procesu wytwarzania zapewniających pożądane wartości własności wytrzymałości materiału.

Badanie obejmowało sprawdzenie ilości oraz masy odłamków powstałych przy detonacji pocisków odłamkowo-burzących elaborowanych materiałem K-43 do 120 mm moździerza samobieżnego Rak. Skorupy pocisków wykonane zostały z różnych gatunków stali o zmiennej temperaturze odpuszczania w procesie wytwarzania. Kadłuby pocisków wykonano ze stali 45H1 oraz stali o umownych nazwach IMŻ i 13270. Skorupy poddane zostały obróbce cieplnej, która polegała na poddaniu skorup procesowi odpuszczania w zakresie temperatur wynoszącym 450-580 °C.

W tabeli 3 przedstawione zostało zestawienie kluczowych informacji na temat bada-

HE mortar projectiles. The suitable fragmentation is one of the parameters describing the efficiency of a specific projectile. The efficiency of fragments is defined in relation to types of targets which are hit by them. According to tactical-technical specifications for projectiles RAK-HE-1 the live force is the main target to be destructed. Regarding the live force, it is accepted that the efficient fragment has the kinetic energy of $E_k \geq 80\text{J}$ in the instance of striking the target at its minimal mass $m \geq 0.5\text{ g}$. The resistance of light armoured shields (helmets, bullet-proof jackets) against penetration is tested by the standard fragments with the mass of ca. 1.1 g. Regarding the above, the analysis of fragmentation process of projectiles has to also distinguish a number of fragments with the mass $m \geq 1\text{ g}$. The adaptation of the course of fragmentation process running during detonation of the projectile by explosive material K-43 required the execution of tests for projectile shells made from different materials at specific parameters of the production providing the demanded values of resistance for the material.

The testing included examination of the number and mass of fragments produced at detonation of high-explosive projectiles elaborated with material K-43 for 120 mm self-propelled mortar Rak. The shells of projectiles were made of different brands of steel with different temperatures of tempering in the process of production. The shells of projectiles were made of steel 45H1 and of steel designated as IMŻ and 13270. The shells were subjected to thermal treatment in the process of tempering in the range of temperatures 450-580 °C.

Table 3 includes specification of key in-

nych skorup pocisków odłamkowo-burzących z wyszczególnieniem parametrów procesu odpuszczania, materiału kadłuba oraz uzyskanej twardości HB dla każdego obiektu przeprowadzanych badań.

formation concerning tested shells of high-explosive projectiles with detailed parameters of tempering process, material of the shell, and obtained hardness HB for each object of conducted tests.

Tabela. 3. Zestawienie skorup pocisków 120 mm przygotowanych do badania fragmentacji
 Table. 3. Specification of shells of 120 mm projectiles prepared for fragmentation tests

Lp. #	Nr kadłuba <i>No of frame</i>	Materiał skorupy <i>Material of shell</i>	Temperatura procesu odpuszczania [°C] <i>Tempering temperature</i>	Twardość HB <i>Hardness</i>
1	1	IMŻ	580	402
2	4	IMŻ	540	
3	8	Stal 13270	560	345
4	9	Stal 13270		
5	10	Stal 13270	500	404
6	11	Stal 13270		
7	12	Stal 13270	450	464
8	13	Stal 13270		
9	14	Stal 45H1	540	350
10	15	Stal 45H1		

W momencie detonacji pocisku typu HE następuje rozerwanie skorupy pocisku pod wpływem ciśnienia wewnętrznego jakie powstaje w kadłubie pocisku. Czynnikiem jakim m.in. definiuje naprężenia jakie wytrzyma kadłub pocisku wynikające z panującego ciśnienia wewnętrznego podczas detonacji jest twardość materiału. Oczekiwana jest odpowiednia fragmentacja skorupy na odłamki skuteczne, która zachodzi podczas uzyskania odpowiedniego dla danego materiału naprężenia rozrywającego skorupę. W celu zbadania fragmentacji wybranych skorup i znalezienia tej kombinacji o najlepszej charakterystyce działania wybrane kadłuby pocisków wykonane zostały z trzech materiałów o różnej temperaturze procesu odpuszczania. Dwa warianty badanych skorup pocisków o numerach 1 i 4 wykonanych ze stali o umownej nazwie IMŻ poddane zostały procesowi odpuszczania stali o wartości temperatur 580 °C i 540 °C. Wartość uzy-

In the moment of HE projectile detonation the shell of the projectile breaks out under the influence of the inner pressure created in the frame of projectile. The hardness of material is a factor defining among others the stresses which the projectile frame can withstand as a result of the inner pressure existing at detonation. The expectations are that the shell fragmentates into the efficient fragments when the stress breaking out the shell, and adequate for the specific material, is obtained. Selected frames of projectiles were made of materials with different tempering temperatures to test fragmentation of those shells and find out a combination with the best performance of operation. Two variants of tested projectile shells marked by numbers 1 and 4 made of the steel with designation IMŻ were subject to steel tempering process at temperatures 580°C and 540°C. The value of obtained hardness in

skanej twardości w skali Brinella w obu przypadkach skorup poddanych innym temperaturom odpuszczania wyniosła 402 HB. W przypadku skorup wykonanych ze stali o nazwie 13270 zastosowane zostały temperatury procesu odpuszczania wynoszące 560 °C dla kadłubów o numerach 8 i 9, 500 °C dla obiektów o nr 10 i 11 oraz 450°C dla skorup z numerami 12 i 13. Najwyższa temperatura omawianego procesu zastosowanego dla materiału 13270 wpłynęła na uzyskanie twardości o wartości 345 HB w skorupach nr 8 i 9. Dla badanych skorup o numerach 10 i 11 przy temperaturze odpuszczania wynoszącej 500°C wartość twardości w skali Brinella wyniosła 464 HB. Najniższa zastosowana temperatura procesu odpuszczania wynosząca 450 °C dla skorup o numerach 12 i 13 wpłynęła na osiągnięcie wartości twardości równej 464 HB. Natomiast dla skorup pocisków o numerach 14 i 15 wykonanych ze stali 45H1 zastosowana temperatura odpuszczania o wartości 540°C wpłynęła na osiągnięcie twardości materiału o wartości 350 HB. Zauważyć można, że w przypadku stali o nazwie 13270 co raz większe wartości temperatury procesu odpuszczania wpływały na zmniejszenie wartości twardości materiału w skali Brinella. Największa wartość twardości została osiągnięta dla badanych skorup o numerach 12 i 13 a jej wartość wyniosła 464 HB.

Na podstawie danych zestawionych w tabeli 4 zauważyć można, że badane skorupy o numerach 1 i 4 fragmentowały niemal identycznie. Detonacja skorupy o numerze 1 skutkowałą uzyskaniem 998 odłamków, a z drugiej badanej skorupy wykonanej ze stali o umownej nazwie IMŻ uzyskano 1050 odłamków. Analizując rozkład odłamków na poszczególne grupy masowe zauważyć można, że w obu przypadkach prawie 92% masy odłamków stanowią te przyporządkowane do grupy masowej numer 9, która zawiera odłamki o masie

Brinell's scale in two cases of shells subjected to different tempering temperatures was 402 HB. In the case of shells made of the steel marked by 13270 there were used tempering temperatures of 560 °C for frames with numbers 8 and 9, and 500 °C for objects nr 10 and 11, and 450 °C for the shells with numbers 12 and 13. The highest temperature applied for material 13270 influenced into obtaining the hardness of 345 HB in shells nr 8 and 9. For tested shells with numbers 10 and 11 and at tempering temperature of 500°C the value of the hardness in Brinell's scale was 464 HB. The lowest applied temperature of tempering equal to 450 °C for the shells with numbers 12 and 13 brought about to reaching the value of hardness equal to 464 HB. And for the shells of projectiles with numbers 14 and 15 which were made of 45H1 steel the applied temperature of tempering equal to 540°C brought about the achieving of material hardness at value of 350 HB. It can be noted that in the case of the steel named by 13270 increased temperatures of tempering influenced into the reduction of material hardness in Brinell's scale. The highest value of the hardness was obtained for tested shells with numbers 12 and 13 at the level of 464 HB.

On the base of data specified in table 4 it can be noted that the investigated shells with numbers 1 and 4 have fragmented almost identically. Detonation of the shell with number 1 took effect in receiving 998 fragments, and for the second tested shell made of the steel named as IMŻ 1050 fragments were received. Analysing the distribution of fragments in particular mass groups, it can be noted that in the both cases almost 92% of mass of the fragments falls into the mass group No 9 containing the fragments having the mass greater than 10 g. The average mass

większej niż 10 g. Średnia masa odłamków z tej grupy masowej wyniosła 49,4 g dla skorupy o numerze 1 oraz 49,75 g dla skorupy o numerze 4. Najwięcej odłamków przyporządkowano do grupy masowej o masie odłamka $m \leq 0,25$ g, a dokładniej 516 oraz 512 sztuk. Średnia waga odłamka z grupy masowej G0 w obu skorupach wynosi około 0,07 g. Zbliżone wartości fragmentacji obu skorup wynikają z faktu, że zostały one wykonane z tej samej stali o nazwie umownej IMŻ oraz poddane procesowi odpuszczania o temperaturze wynoszącej odpowiednio 580 °C i 540 °C.

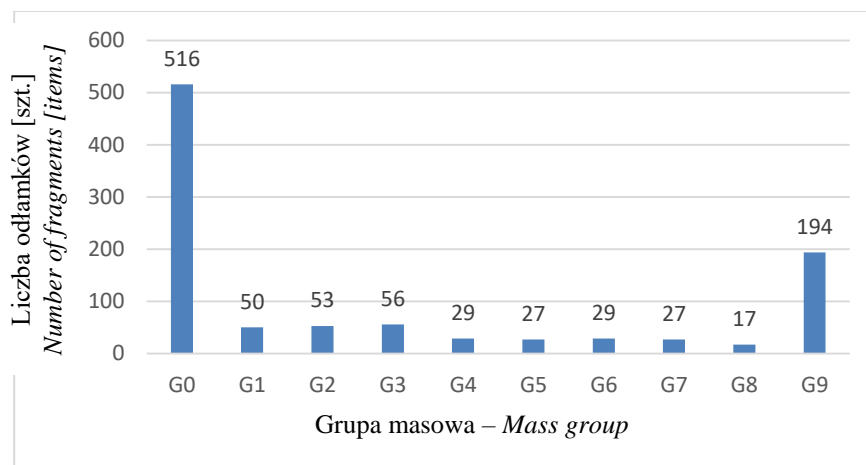
of fragments in this mass group was 49.4 g for the shell with number 1 and 49.75 g for the shell with number 4. The greatest number of fragments was assigned to the mass group with the fragment mass $m \leq 0.25$ g, and actually 516 and 512 items. The average weight of fragments from the mass group G0 is ca. 0.07 g for two shells. Similar values of fragmentation for both shells are caused by the fact of producing them from the same steel brand with the name IMŻ and subjected to the process of tempering at respective temperatures 580 °C and 540 °C.

Tabela 4. Wyniki uzyskane z badania fragmentacji skorup pocisków o nr 1 i 4
 Table 4. Results obtained at testing fragmentation of projectile shells with numbers 1 and 4

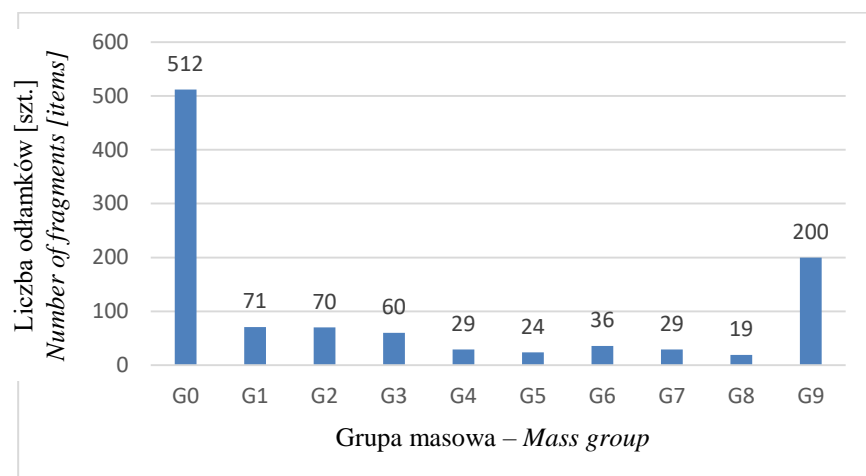
Nr kadłuba # of frame		1			4		
Materiał skorupy Material of frame		IMŻ			IMŻ		
Grupa masowa Mass group		masa odłamków Mass of fragments	Ilość odłamków Number of fragments	% masy Mass %	masa odłamków Mass of fragments	Ilość odłamków Number of fragments	% masy Mass %
G0	$\leq 0,25g$	37,652	516	0,4	41,789	512	0,4
G1	$>0,25g$ i $\leq 0,5g$	17,168	50	0,165	24,566	71	0,226
G2	$>0,5g$ i $\leq 1g$	37,012	53	0,355	49,526	70	0,457
G3	$>1g$ i $\leq 2g$	83,180	56	0,80	82,683	60	0,8
G4	$>2g$ i $\leq 3g$	71,031	29	0,681	71,359	29	0,658
G5	$3g$ i $\leq 4g$	92,223	27	0,884	78,994	24	0,728
G6	$>4g$ i $\leq 6g$	179,077	29	1,7	179,074	36	1,7
G7	$6g$ i $\leq 8g$	190,936	27	1,830	197,8	29	1,824
G8	$>8g$ i $\leq 10g$	145,960	17	1,399	171,3	19	1,579
G9	$>10g$	9579,0	194	91,8	9950,0	200	91,7
Suma		10433,239	998		10847,091	1050	

Natomiast badanie twardości metodą Brinella wykazało podobną wartość twardości występującą na poziomie 402 HB. Graficzny rozkład ilości odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanych skorup o numerze 1 i 4 przedstawiony został na rysunku 8 oraz 9.

Testing the hardness by Brinell's method indicated a similar value of hardness on the level of 402 HB. Graphical distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shells with numbers 1 and 4 is presented in Fig. 8 and 9.



Rys. 8. Rozkład liczby odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanej skorupy nr 1
Fig. 8. Distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shell nr 1



Rys. 9. Rozkład liczby odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanej skorupy nr 4
Fig. 9. Distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shell nr 4

Drugą parą badanych skorup pocisków typu HE były skorupy o numerze 8 i 9 wykonane ze stali o oznaczeniu 13270 (tabela 5). W trakcie wytwarzania na potrzeby badania poddane zostały procesowi odpuszczania w temperaturze 560 °C. Parametry charakteryzujące dany materiał oraz odpowiednio przeprowadzona obróbka cieplna zdecydowały o osiągnięciu twardości materiału na poziomie 345 HB. Efektem przeprowadzenia badania fragmentacji było uzyskanie 1341 odłamków ze skorupy o numerze 8 oraz 1194 odłamków z obiektu o numerze 9. Około 88% masy odłamków badanych skorup stanowią odłamki przyporządkowane do grupy masowej numer

The second couple of tested shells of HE projectiles were the shells with numbers 8 and 9 made of the steel marked as 13270 (table 5). For research reasons they were subject to tempering process at temperature 560 °C during the production. Parameters characterising specific material and appropriately conducted thermal treatment decided about getting the hardness of the material on the level of 345 HB. The performed tests of fragmentation took effect in receiving 1341 fragments from the shell nr 8, and 1194 fragments from the object nr 9. About 88% of the mass of fragments for investigated shells constitute

9. Średnia masa odłamka z grupy masowej o masie $m > 10$ g dla obu badanych skorup wynosi około 46,5 g. Zauważyć można, że w przypadku obu badanych skorup największa liczba odłamków przydzielona została do grupy masowej G0, której liczba wynosi odpowiednio 630 oraz 570. Średnia waga odłamków przydzielonych do grupy G0 w obu badanych skorupach wynosi około 0,115 g. W grupach masowych od G1 do G8 w obu przypadkach badanych skorup zauważyć można małą liczbę występujących odłamków.

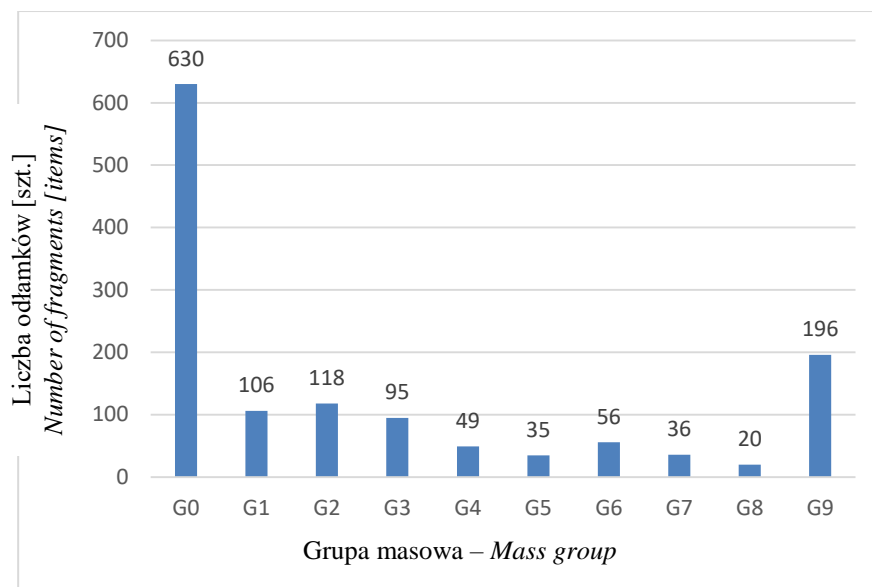
the fragments assigned into the mass group nr 9. The average mass of fragments from the mass group $m > 10$ g is ca. 46.5 g for both tested shells. It can be noted that in the case of the two tested shells the greatest number of fragments falls into the mass group G0 including respectively 630 and 570 items. The average weight of fragments allocated in group G0 is ca. 0.115 g for the two tested shells. The mass groups from G1 to G8 show a small number of existing fragments for the both tested shells.

Tabela 5. Wyniki uzyskane z badania fragmentacji skorup pocisków o nr 8 i 9
 Table 5. Results obtained from testing fragmentation of shells for projectiles nr 8 and 9

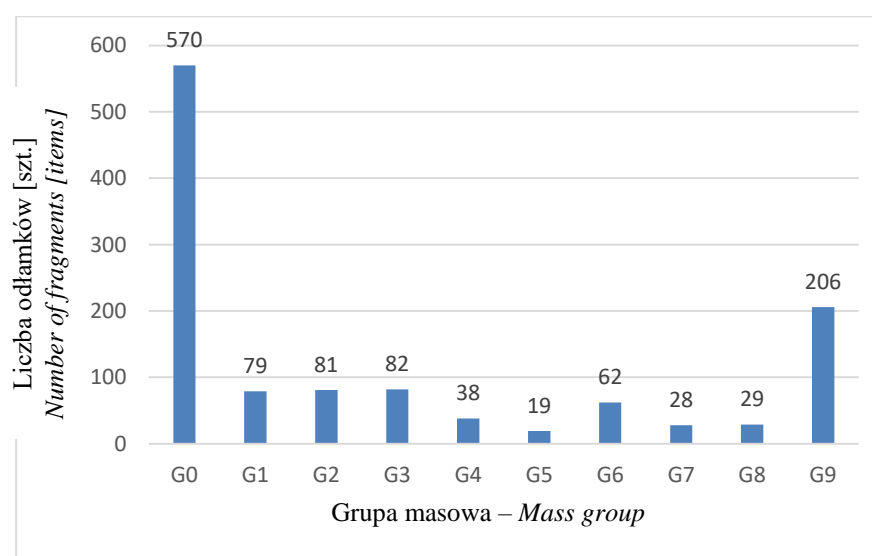
Nr kadłuba # of frame		8			9		
Materiał skorupy Material of shell		Stal 13270 Steel 13270			Stal 13270 Steel 13270		
Grupa masowa Mass group		Masa odłamków Mass of fragments	Liczba odłamków Number of fragments	% masy Mass %	Masa odłamków Mass of fragments	Ilość odłamków Number of fragments	% masy Mass %
G0	$\leq 0,25$ g	69,405	630	0,7	66,940	570	0,6
G1	$> 0,25$ g i $\leq 0,5$ g	35,260	106	0,335	29,550	79	0,273
G2	$> 0,5$ g i ≤ 1 g	80,600	118	0,766	59,170	81	0,548
G3	> 1 g i ≤ 2 g	133,972	95	1,27	119,090	82	1,10
G4	> 2 g i ≤ 3 g	118,557	49	1,126	95,960	38	0,888
G5	3 g i ≤ 4 g	115,233	35	1,095	67,680	19	0,626
G6	> 4 g i ≤ 6 g	278,7	56	2,6	313,8	62	2,9
G7	6 g i ≤ 8 g	255,7	36	2,429	194,8	28	1,802
G8	> 8 g i ≤ 10 g	177,2	20	1,683	258,1	29	2,389
G9	> 10 g	9262,1	196	88,0	9600,0	206	88,8
Suma		10526,727	1341		10805	1194	

Graficzny rozkład liczby odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanych skorup o numerze 8 i 9 przedstawiony został na rysunku 10 oraz 11.

Graphical distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shells with numbers 8 and 9 is presented in Fig. 10 and 11.



Rys. 10. Rozkład liczby odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanej skorupy nr 8
Fig. 10. Distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shell nr 8



Rys. 11. Rozkład liczby odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanej skorupy nr 9
Fig. 11. Distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shell nr 9

Następną parą badanych skorup o numerach 10 i 11 są kadłuby wykonane ze stali o oznaczeniu 13270, które poddane zostały procesowi odpuszczania z temperaturą na poziomie 500 °C (tabela 6). Efektem procesu wytwarzania badanych skorup było uzyskanie parametru twardości o wartości 404 HB. Na podstawie wyników badań fragmentacji skorup oznaczonych numerami 10 i 11 zauważyć

The next couple of tested shells with numbers 10 and 11 was made of steel marked by 13270 subjected to tempering process on the level of 500 °C (table 6). As the result of manufacture process of tested shells the parameter of hardness on the level of 404 HB was received. On the basis of test results on fragmentation of shells marked by numbers 10 and 11 it can be noted that there

można, że wystąpiła różnica w uzyskanych wynikach fragmentacji obu badanych obiektów badań. Detonacja pocisku o numerze 10 skutkowałą uzyskaniem 1523 odłamków, z czego największa ich ilość (682 odłamki) przydzielona została do grupy G0. Zwrócić uwagę należy na fakt, że prawie 400 odłamków mieściło się w przedziale od 0,25 g do 2 g (przedział zawierający tzw. odłamki skuteczne). Średnia waga odłamków przydzielonych do grupy masowej G9 wyniosła 34,5 g, natomiast tych w grupie masowej G0 około 0,13 g. W przypadku badanej skorupy o numerze 11 efektem detonacji były 882 odłamki, co stanowi ok. 60% odłamków bliźniaczej skorupy o numerze 10. Największa liczba odłamków ponownie wystąpiła w grupie masowej G0 i wyniosła wartość 463, a średnia waga odłamka z tej grupy to około 0,08 g. Ponad 92% masy odłamków stanowią odłamki zawierające się w grupie o masie odłamka większej niż 10 g, a jego średnia waga w tej grupie wyniosła ok. 60 g.

is a difference in obtained results of fragmentation for two tested objects. Detonation of the projectile nr 10 produced 1523 fragments and the greatest number of them (682 fragments) fell into group G0. Attention has to be paid to the fact that almost 400 fragments was found in the range from 0.25 g to 2.0 g (the range containing the so called efficient fragments). The average weight of fragments assigned to mass group G9 was 34.5 g, and for those in the mass group G0 it was ca. 0.13 g. In the case of tested shell nr 11 the effect of detonation produced 882 fragments what creates ca. 60% fragments of the counterpart shell with number 10. The greatest number of fragments was again observed in the mass group G0 and was equal to 463, and the average weight of fragment of this group was ca. 0.08 g. Over 92% mass of the fragments is created by the fragments contained in the group for masses of fragments greater than 10 g, and its average weight in this group was ca. 60 g.

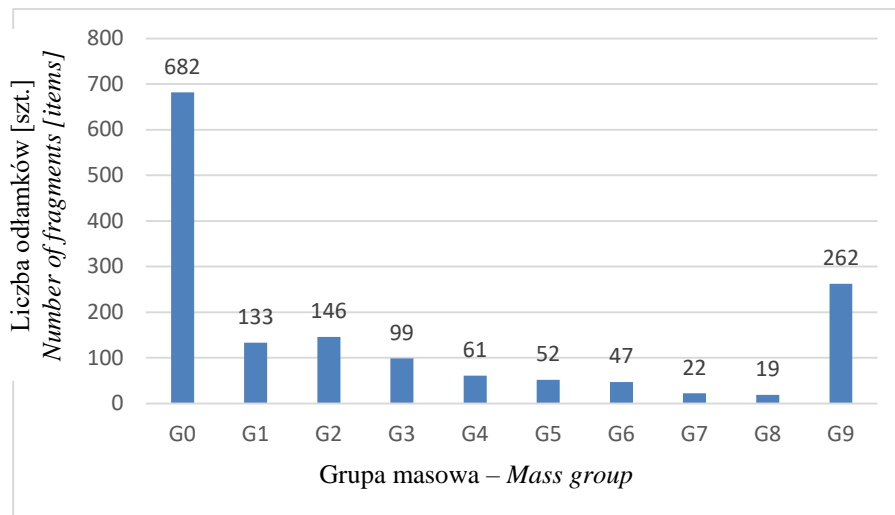
Tabela.6. Wyniki uzyskane z badania fragmentacji skorup pocisków o nr 10 i 11

Table 6. Results obtained from testing fragmentation of shells for projectiles nr 10 and 11

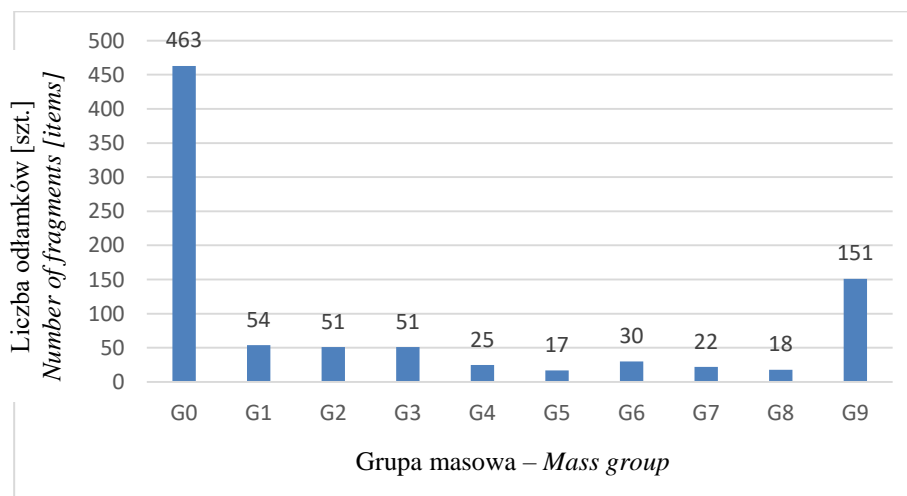
Nr kadłuba /# of frame		10			11		
Materiał skorupy Material of shell		Stal 13270			Stal 13270		
Grupa masowa Mass group		masa odłamków Mass of fragments	liczba odłamków Number of fragments	% masy Mass	masa odłamków Mass of fragments	liczba odłamków Number of fragments	% masy Mass
G0	≤ 0,25g	86,361	682	0,8	36,490	463	0,4
G1	> 0,25g i ≤ 0,5g	46,120	133	0,448	17,710	54	0,182
G2	> 0,5g i ≤ 1g	95,193	146	0,925	34,085	51	0,350
G3	> 1g i ≤ 2g	134,918	99	1,3	69,460	51	0,7
G4	> 2g i ≤ 3g	148,385	61	1,442	59,637	25	0,612
G5	3g i ≤ 4g	176,647	52	1,717	59,915	17	0,615
G6	> 4g i ≤ 6g	230,6	47	2,2	146,709	30	1,5
G7	6g i ≤ 8g	150,7	22	1,465	150,325	22	1,542
G8	> 8g i ≤ 10g	168,0	19	1,633	158,850	18	1,629
G9	> 10g	9051,0	262	88,0	9015,800	151	92,5
Suma		10287,924	1523		9748,981	882	

Graficzny rozkład liczby odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanych skorup o numerze 10 i 11 przedstawiony został na rysunku 12 i 13.

Graphical distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shells with numbers 10 and 11 is presented in Fig. 12 and 13.



Rys. 12. Rozkład liczby odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanej skorupy nr 10
Fig. 12. Distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shell nr 10



Rys. 13. Rozkład liczby odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanej skorupy nr 11
Fig. 13. Distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shell nr 11

Kolejna para badanych skorup pocisków wykonanych z materiału o oznaczeniu 13270 poddana została procesowi odpuszczania w temperaturze 450°C (tabela 7). Badanie twardości metodą Brinella wykazało, że materiał na skorupę cechuje się wartością twardości na poziomie 464 HB. Takie parametry wytrzymałościowe materiału zapewniły fragmentację w wysokości 1315 i 1418 odłamków badanych

Next pair of tested projectile shells made of material marked by 13270 was tempered at temperature 450°C (table 7). Test of hardness by Brinell's method indicated that the material of the shell is characterised by the value of hardness on the level of 464 HB. Such parameters of the material strength provided the fragmentation on the level of 1315 and 1418 fragments for tested shells with consecutive

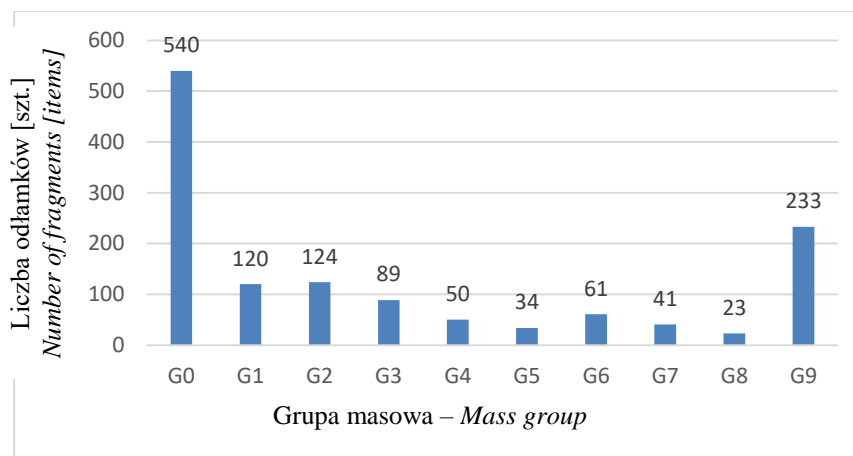
skorup kolejno o numerach 12 i 13. Analizując rozkład odłamków na poszczególne grupy masowe zauważyć można, że około 86% masy wszystkich odłamków w obu przypadkach badanych skorup przypada na grupę masową o masie odłamka większym od 10 g. Obliczeniowa średnia masa odłamka w tej grupie masowej występuje na poziomie 36 g. W obu przypadkach badanych skorup o numerze 12 i 13 największa liczba odłamków przypada na grupę G0. Z tabeli 7 wynika, że dla kadłuba o numerze 12 liczba ta wynosi 540 odłamków o średniej masie wynoszącej 0,10 g, natomiast w przypadku skorupy o numerze 13 uzyskano 608 odłamków zaliczających się do grupy masowej G0 o średniej masie odłamka wynoszącej 0,11 g. Analiza rozkładu odłamków na poszczególne grupy masowe pozwoliła również zauważyć, że w przypadku analizowanych skorup (nr 12 i 13) występuje większa liczba odłamków znajdujących się w grupach masowych od 0,25 g do 2 g.

numbers 12 and 13. Analysing distribution of fragments in particular mass groups one can notice that about 86% of the mass of all fragments falls into the mass group with the mass of fragments greater than 10 g in the both cases of tested shells. The calculated average mass of the fragment in this mass group is on the level of 36 g. In both cases of tested shells with numbers 12 and 13 the greatest number of fragments falls into group G0. Table 7 indicates that for the frame nr 12 this number equals to 540 fragments with the average mass of 0.10 g, whereas for the case of the shell designated by number 13 there were 608 fragments received which fall into mass group G0 with the average mass of fragment equal to 0.11 g. The analysis of distribution of fragments for particular mass groups allowed also for observation that in the case of analysed shells (nr 12 and 13) there is a greater number of fragments contained in mass groups from 0.25 g to 2.0 g.

Tabela.7. Wyniki uzyskane z badania fragmentacji skorup pocisków o nr 12 i 13

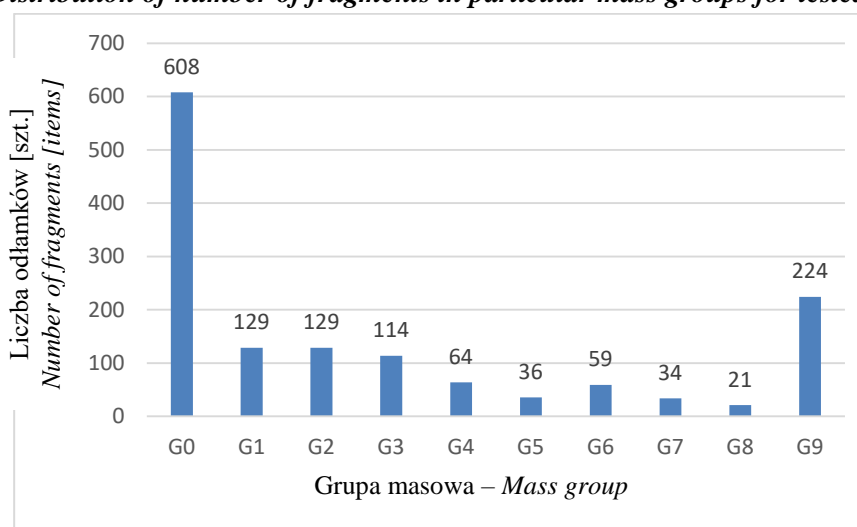
Table 7. Results obtained from testing fragmentation of shells for projectiles nr 12 and 13

Nr kadłuba /# of frame		12			13		
Materiał skorupy Material of the shell		Stal 13270			Stal 13270		
Grupa masowa Mass group		Masa odłamków Mass of fragments	Liczba odłamków Number of fragments	% masy Mass %	Masa odłamków Mass of fragments	Liczba odłamków Number of fragments	% masy Mass %
G0	≤ 0,25g	54,186	540	0,6	67,094	608	0,7
G1	> 0,25g i ≤ 0,5g	39,006	120	0,407	42,514	129	0,431
G2	> 0,5g i ≤ 1g	82,836	124	0,864	87,519	129	0,887
G3	> 1g i ≤ 2g	124,322	89	1,30	160,892	114	1,63
G4	> 2g i ≤ 3g	120,484	50	1,257	157,117	64	1,592
G5	3g i ≤ 4g	119,368	34	1,245	121,636	36	1,232
G6	> 4g i ≤ 6g	299,0	61	3,1	279,9	59	2,8
G7	6g i ≤ 8g	275,8	41	2,877	233,0	34	2,361
G8	> 8g i ≤ 10g	206,3	23	2,152	186,2	21	1,887
G9	> 10g	8264,0	233	86,2	8533,5	224	86,5
Suma		9585,302	1315		9869,372	1418	



Rys. 14. Rozkład liczby odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanej skorupy nr 12

Fig. 14. Distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shell nr 12



Rys. 15. Rozkład liczby odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanej skorupy nr 13

Fig. 15. Distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shell nr 13

Graficzny rozkład liczby odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanych skorup o numerze 12 i 13 przedstawiony został na rysunku 14 oraz 15.

W tabeli 8 przedstawione zostały uzyskane wyniki z przeprowadzonego badania skorup pocisków wykonanych ze stali 45H1, które na drodze odpuszczania w temperaturze 540 °C charakteryzowały się twardością wg metody Brinella o wartości 350 HB. Pomimo identycznych własności materiałowych badanych skorup o numerze 14 i 15 uzyskane wyniki z badania fragmentacji tego nie odzwierciedlają. Detonacja skorupy numer 14 skutkowałą uzyskaniem 836 odłamków, przy uzyskanych

Graphical distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shells with numbers 12 and 13 is presented in Fig. 14 and 15.

In table 8 are presented the results obtained at testing the shells of projectiles made of steel 45H1 which were characterised by the hardness measured by the Brinell's method on the level of 350 HB after tempering at temperature 540 °C. Despite identical material properties of investigated shells with numbers 14 and 15 the obtained results of fragmentation do not reflect it. Detonation of the shell numbered by 14 produced 836 fragments, whereas the shell nr 15 provided 1475 frag-

1475 odłamkach ze skorupy o numerze 15. Odłamki uzyskane z fragmentacji skorupy o numerze 14 stanowią ok. 57% odłamków uzyskanych z fragmentacji skorupy o numerze 15. Analizując rozkład odłamków skorupy o numerze 14 na poszczególne grupy masowe zauważyć można, że prawie 95% masy odłamków stanowią odłamki przyporządkowane do grupy o masie odłamka większej niż 10 g, a jego średnia waga wynosiła ok. 56 g. Największa liczba odłamków przypadła do grupy masowej o masie odłamka $m \leq 0,25$ g i liczyła 486, a średnia waga odłamka w tej grupie wyniosła 0,07 g. W pozostałych grupach masowych występowała znikoma liczba odłamków nie przekraczająca 50 odłamków w danej grupie. Natomiast w przypadku analizy rozkładu odłamków kadłuba o numerze 15 na poszczególne grupy masowe zauważyć można, że w grupach masowych o masie odłamka od 0,25 g do 2 g zostało przydzielonych 389 odłamków.

The fragments obtained from the fragmentation of shell nr 14 constitute near 57% of fragments received at fragmentation of shell nr 15. Analysing the distribution of fragments of the shell nr 14 into particular mass groups one can notice that almost 95% of the mass of fragments is constituted by the fragments allocated in the group of fragment's mass greater than 10 g, and their average weight was ca. 56 g. The greatest number of fragments falls into the mass group with the fragment mass $m \leq 0.25$ g and contained 486 items, at the average weight of fragment in this group equal to 0.07 g. The remaining mass groups contained minimal numbers of fragments and they were below 50 fragments in particular group. But in the case of analysis of distribution of fragments for the frame nr 15 into particular mass groups it can be noted that in the mass groups with the fragment mass from 0.25 g to 2.0 g there were included 389 fragments.

Tabela 8. Wyniki uzyskane z badania fragmentacji skorup pocisków o nr 14 i 15

Table 8. Results obtained from testing fragmentation of shells for projectiles nr14 and 15

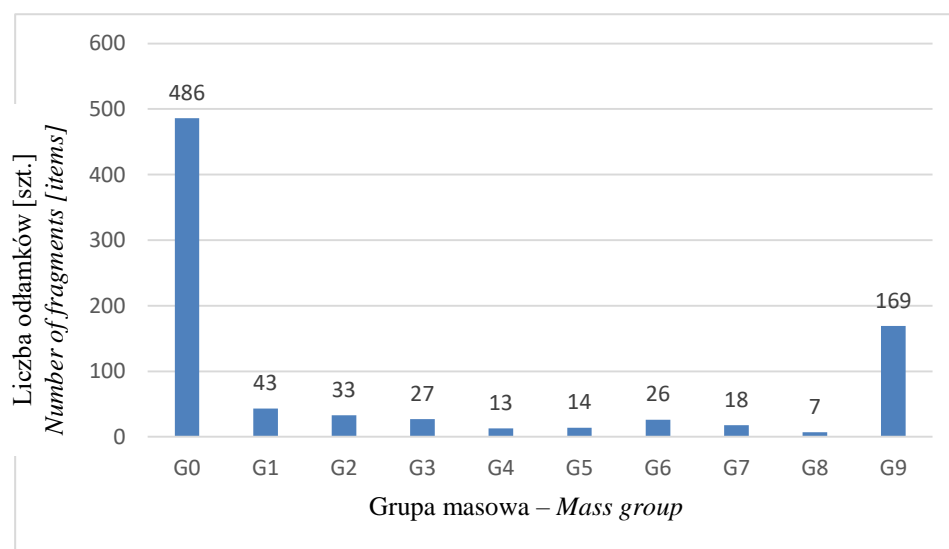
Nr kadłuba/ # of frame		14			15		
Materiał skorupy Material of shell		Stal 45H1			Stal 45H1		
Grupa masowa Mass group		masa odłamków Mass of fragments	liczba odłamków Number of fragments	% masy Mass %	masa odłamków Mass of fragments	liczba odłamków Number of fragments	% masy Mass %
G0	$\leq 0,25$ g	34,089	486	0,3	74,828	624	0,7
G1	$> 0,25$ g i $\leq 0,5$ g	14,133	43	0,141	47,793	140	0,460
G2	$> 0,5$ g i ≤ 1 g	23,643	33	0,236	88,325	130	0,851
G3	> 1 g i ≤ 2 g	36,353	27	0,4	159,310	119	1,53
G4	> 2 g i ≤ 3 g	31,717	13	0,317	157,668	65	1,519
G5	3 g i ≤ 4 g	51,376	14	0,513	137,736	41	1,327
G6	> 4 g i ≤ 6 g	128,071	26	1,3	270,1	57	2,6
G7	6 g i ≤ 8 g	124,076	18	1,239	291,2	42	2,805
G8	> 8 g i ≤ 10 g	62,150	7	0,621	199,9	23	1,925
G9	> 10 g	9505,480	169	94,9	8955,7	234	86,3
Suma		10011,088	836		10382,56	1475	

Największa liczba odłamków wynosząca 624 przyporządkowana została do grupy G0, a średnia masa odłamka z tej grupy wyniosła 0,12 g. Ponad 86% masy odłamków z procesu fragmentacji skorupy przyporządkowana została grupie masowej o masie odłamka większej niż 10 g.

Graficzny rozkład liczby odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanych skorup o numerze 14 i 15 przedstawiony został na rysunkach 16 oraz 17.

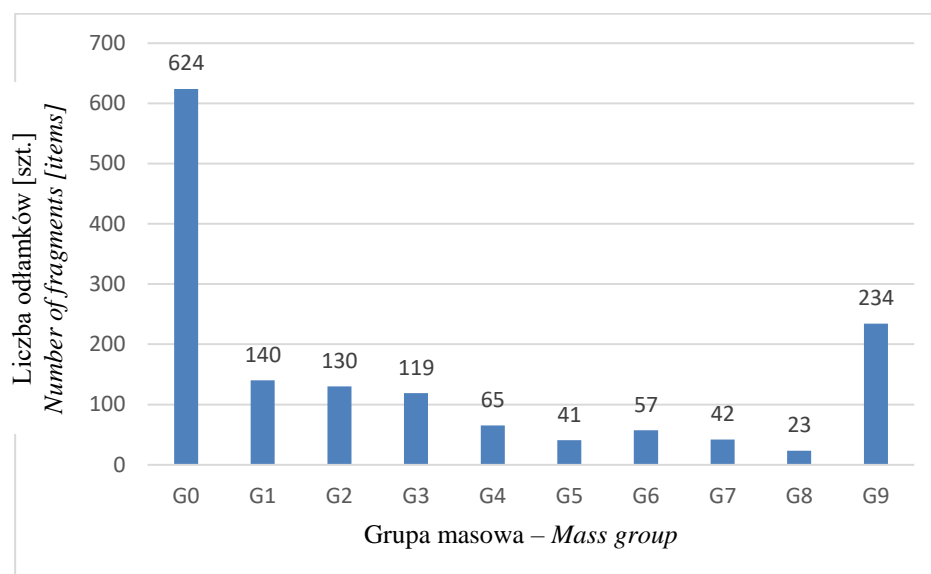
The greatest number of 624 fragments was attached to group G0 and the average mass of the fragment from this group was 0.12 g. More than 86% of the mass of fragments produced at fragmentation of the shell was assigned to the mass group with the mass of fragment greater than 10 g.

Graphical distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shells with numbers 14 and 15 is presented in Fig. 16 and 17.



Rys. 16. Rozkład liczby odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanej skorupy nr 14

Fig. 16. Distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shell nr 14

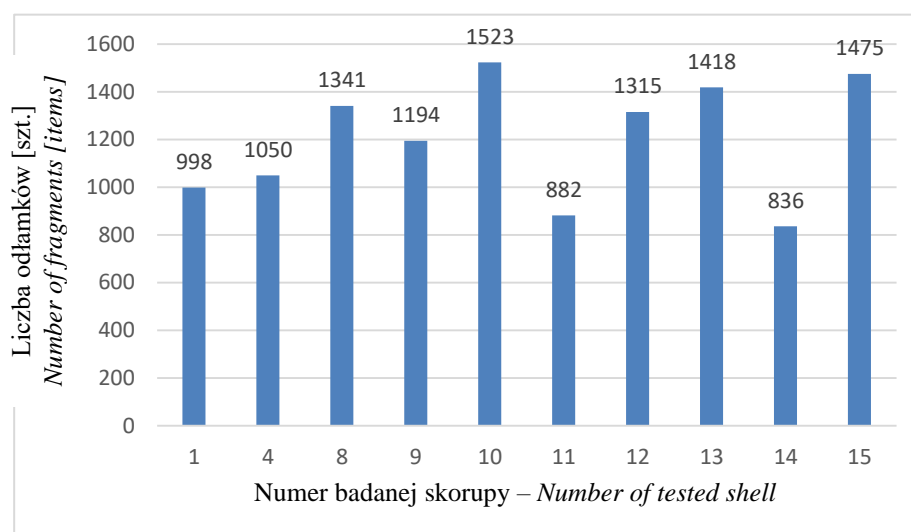


Rys. 17. Rozkład liczby odłamków w poszczególnych grupach masowych dla badanej skorupy nr 15

Fig. 17. Distribution of number of fragments in particular mass groups for tested shell nr 15

Analizując graficzny sposób zestawienia liczby powstałych odłamków po detonacji badanych skorup pocisków typu HE (rys.18) zauważyć można, że większą liczbę odłamków uzyskiwały jedynie materiały stal 13270 oraz stal 45H1. Większe zdolności fragmentujące wykazywały skorupy o numerach 10, 13 i 15 które poddane zostały obróbce cieplnej w formie procesu odpuszczania w temperaturach wynoszących kolejno 500 °C, 450 °C i 540 °C. Zauważyć również można, że skorupy ze stali o umownej nazwie IMŻ fragmentują gorzej od skorup ze stali 13270 o podobnych parametrach twardości materiału.

Analysing graphical method for specification of numbers of created fragments after the detonation of investigated HE projectile shells (Fig.18) it can be noted that only such materials as steel 13270 and steel 45H1 produced greater number of fragments. Greater fragmentation capacities were represented by the shells numbered by 10, 13 and 15 which were subject to thermal treatment by the tempering process at respective temperatures of 500 °C, 450 °C and 540 °C. It can be also noted that the shells made of steel designated by IMŻ fragmentate less effectively than the shells made of steel 13270 at similar parameters of material hardness.



Rys. 18. Liczba powstałych odłamków po detonacji badanych skorup pocisków typu HE
Fig. 18. Number of created fragments after detonation of tested shells of HE projectiles

Analizując dane dotyczące odłamków skutecznych (tabela 9), które można wyodrębnić spośród uzyskanych odłamków z badań fragmentacji skorup zauważyć można, że liczba odłamków skutecznych zależy przede wszystkim od liczby powstałych odłamków. Najgorzej pod tym względem wypadły skorupy o numerach 1 i 4 wykonane z materiału o umownej nazwie IMŻ, które nie osiągnęły pożądanego poziomu fragmentacji na odłamki. Detonacja badanych skorup numer 1 i 4 skutkowałą powstaniem około 1000 odłamków, z czego ich skuteczna ilość wynosiła odpowiednio 432 i 467. Analizując badane sko-

Analysing data concerning the efficient fragments (table 9), which can be distinguished among the obtained fragments at testing the fragmentation of shells, it can be noted that the number of efficient fragments depends most of all on the number of produced fragments. Regarding the above, the shells with numbers 1 and 4 made of the material designated as IMŻ were the worst ones as they have not provided demanded levels of fragments. Detonation of tested shells nr 1 and 4 takes effect in creation of near 1000 fragments and among them 432 and 467 were respectively the efficient ones. Analys-

rupy wykonane ze stali o oznaczeniu 13270 można zauważyć większą liczbę odłamków przekładając się na większą liczbę odłamków skutecznych, których powstawanie jest niezwykle pożądane w kontekście skuteczności pocisku typu HE. Najwyższą wartością średniej liczby odłamków skutecznych charakteryzuje się skorupa wykonana ze stali 13270, która została poddana obróbce cieplnej (odpuszczaniu) z temperaturą na poziomie 450 °C, co przelożyło się na uzyskanie najwyższej wartości twardości HB. Odpowiednie siły naprężenia wewnętrznego materiału skorupy podczas detonacji pocisku spowodowały uzyskanie średniej liczby odłamków skutecznych na poziomie 668 sztuk. W przypadku skorup o numerach 10 i 11 wykonanych ze stali 13270 o twardości 404 HB oraz skorup o numerach 14 i 15 wykonanych ze stali 45H1 o twardości 350 HB występowały obiecujące wyniki dotyczące fragmentacji jedynie jednej skorupy z każdej pary. Pozytywne wyniki badanych skorup oscylowały w granicy 710 sztuk skutecznych odłamków na jedną skorupę, lecz wyniki te nie zostały potwierdzone przez bliźniacze pod względem parametrów kadłuby pocisków.

ing the investigated shells made of the steel designated by 13270 a greater number of fragments can be noticed what is translated on a greater number of efficient fragments what is highly desirous in the context of the HE projectile efficiency. The highest level of the average number of efficient fragments is obtained for the shell made of steel 13270 which was subject to thermal treatment (tempering) at temperature on the level of 450 °C what was translated into the highest level of obtained hardness HB. Adequate forces of inner stresses in the material of the shell during projectile's detonation caused that the average number of efficient fragments was obtained on the level of 668 items. In the case of shells nr 10 and 11 made of steel 13270 and hardness 404 HB, and the shells nr 14 and 15 made of steel 45H1 with the hardness 350 HB the promising results of fragmentation were present only for one shell of each couple. The positive results of tested shells oscillated at 710 items of efficient fragments for one shell, but these results were not confirmed by the frames of projectiles with counterpart parameters.

Tabela. 9. Dane dotyczące występowania obliczeniowych odłamków skutecznych
Table. 9. Data concerning the quantities of calculated efficient fragments

Lp. #	Numer kadłuba Number of frame	Liczba odłamków [szt.] Number of fragments [items]	Liczba odłamków skutecznych (m > 0,5 g) Number of efficient fragments	Średnia liczba odłamków skutecznych [szt.] Average number of efficient fragments	Liczba odłamków o masie m > 1 g Number of fragments with mass m > 1 g
1	1	998	432	432	379
2	4	1050	467	467	397
3	8	1341	605	575	487
4	9	1194	545		464
5	10	1523	708	536,5	562
6	11	882	365		314
7	12	1315	655	668	531
8	13	1418	681		552
9	14	836	307	509	274
10	15	1475	711		581

Badana skorupa pocisku typu HE wykonanego z żeliwa (tabela 1) podczas detonacji fragmentowała na łączną sumę odłamków wynoszącą 10588. Wynik ten nie byłby możliwy do uzyskania gdyby nie zastosowana obróbka mechaniczna skorupy. Obróbka mechaniczna wewnątrz skorupy polega na wykonaniu nacięć w specjalnie zaprojektowane elementy, które podczas wytworzenia ciśnienia wewnętrznego podczas detonacji pocisku wpłyną na wytworzenie dodatkowych odłamków w określonym kierunku oraz kształcie.

W przeciwieństwie do przypadkowej fragmentacji, gdzie odłamki powstają w wyniku przypadkowego rozerwania się skorupy pocisku, fragmentacja wymuszona umożliwia kontrolowane wytworzenie dodatkowych odłamków. Analizując dane z tabeli 1 zauważyć można znacznie większą liczbę uzyskanych odłamków ze strefy grup masowych definiujących odłamki jako skuteczne. Obróbka mechaniczna zainicjowała powstanie większej ilości odłamków o masie od 0,56 g do 3,2 g. Uzyskanie tej wielkości odłamków znacznie zwiększa skuteczność rażenia pocisku na określonym obszarze.

4. Podsumowanie

W ramach zrealizowanej pracy wykonano badanie balistyczne fragmentacji skorupy pocisku odłamkowo-burzącego oraz dokonano analizy wpływu obróbki cieplnej i mechanicznej na fragmentację 120 mm odłamkowo-burzących pocisków moździerzowych. Analiza polegała na porównaniu wartości pozyskanych na drodze przeprowadzonych badań wybranych skorup ze względu na ilość uzyskanych odłamków, ilość odłamków skutecznych oraz rozkład odłamków na poszczególne grupy masowe.

W wybranych pociskach odłamkowo-burzących wybieranym materiałem na wykonanie skorupy pocisków były stal i żeliwo.

Tested shell of HE projectile made of the cast iron (table 1) fragmented during the detonation providing total number of fragments equal to 10588. The result could only be achieved due to applied mechanical treatment of the shell. The mechanical treatment inside the shell is based on execution of cuts according to specially designed pattern and elements affecting production of additional fragments in specific directions and shapes when the inner pressure builds up at detonation of projectile.

Contrary to a casual fragmentation where the fragments are created as a result of a random bursting out of the projectile shell the enforced fragmentation enables a controllable production of additional fragments. Analysing data with table 1 one can note a significantly greater number of received fragments within the range of mass groups which define the fragments as efficient. The mechanical treatment caused the creation of greater numbers of fragments with the mass from 0.56 g to 3.2 g. The fragments of such size significantly increase the projectile hitting efficiency in a specific zone.

4. Summary

Testing framework included the ballistic fragmentation tests of high-explosive projectile shells and the analysis over the influence of the thermal and mechanical treatment into the fragmentation of 120 mm high-explosive mortar projectiles. The analysis was based on comparison of obtained results of tests concerning the number of received fragments, the number of efficient fragments, and distribution of fragments into particular mass groups.

Steel and cast iron were chosen as material for production of projectile shells for selected high-explosive projectiles. Materi-

Materiały wykorzystane do produkcji skorup pocisków charakteryzują się różnymi wartościami twardości, wytrzymałości i elastyczności, które zdecydowanie wpływają na proces fragmentacji pocisku podczas detonacji. Dodatkowym czynnikiem było wytworzenie odpowiedniego ciśnienia wewnętrznego podczas detonacji, co przyczynia się do rozerwania skorupy pocisku i wyrzutu odłamków w określonym kierunku. Materiał wybuchowy odpowiada za osiągnięcie odpowiedniej energii co przekłada się na siłę detonacji pocisku.

Na podstawie wyników z przeprowadzonych badań stwierdzić można, że bez zastosowania obróbki mechanicznej wprowadzającej fragmentację wymuszoną nie było możliwości uzyskania wyników o większej liczbie powstałych odłamków podczas detonacji oraz uzyskania pożądanego rozkładu odłamków na poszczególne grupy masowe dla korpusów pocisków moździerzowych wykonanych ze stali.

als used for production of projectile shells are characterised by different parameters of hardness, strength, and elasticity strictly affecting the process of projectile's fragmentation at detonation. Building up the adequate inner pressure was an additional question influencing the breaking out of the projectile shell and projection of fragments in specific direction. Explosive material is responsible for achieving an adequate energy what translates into projectile's detonation power.

On the basis of results from performed tests it can be stated that without the mechanical treatment enabling the enforced fragmentation it could not be possible to get the results with the greater number of produced fragments during detonation and to obtain the demanded distribution of fragments in particular mass groups for mortar projectile shells made of steel.

Literatura / Literature

- [1] Magier M. „Moździerze – od artylerii kieszonkowej do autonomicznego środka ogniowego” Nowa Technika Wojskowa, 12/2011.
- [2] Kostrow R., Magier M. Pankowski Z. „Artyleria polowa XXI wieku”, Zielonka 2006.
- [3] Magier M, Merda T. „Wybrane problemy konstrukcji 120 mm odłamkowo-burzących pocisków moździerzowych”. *Problemy Techniki Uzbrojenia*. (2015);133(1):21-31.
- [4] „Dokumentacja Konstrukcyjna. Demontaż 120 mm pocisku odłamkowo-burzącego o wymuszonej fragmentacji z żeliwa OF-843B. nr rys. B76.10.00.00. Archiwum WITU, 2013.
- [5] „Dokumentacja Konstrukcyjna. Nabój z dalekonośnym pociskiem odłamkowo-burzącym (HE) do 120 mm do moździerza. Część I Elaboracja i kompletacja naboju. nr rys. 6-B59.00. Archiwum WITU, 2014.

