



## ANALIZA WYBRANYCH SPOSOBÓW FRAGMENTACJI WYMUSZONEJ POCISKÓW ARTYLERYJSKICH

### ANALYSIS OF SELECTED METHODS OF FORCED FRAGMENTATION OF ARTILLERY SHELLS

Bohdan ZARZYCKI

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia  
*Military Institute of Armament Technology*

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wybrane wyniki numerycznych obliczeń wytrzymałościowych fragmentów wkładek odłamkowych umieszczanych w korpusach (skorupach) pocisków oraz fragmentacji korpusów pocisków artyleryjskich (tabela 1), przeprowadzonych za pomocą analizy wytężenia komponentów z zastosowaniem Metody Elementów Skończonych (MES) z użyciem programu INVENTOR firmy Autodesk. W ramach analizy przedstawiono przykładowe kształty odłamków powstałych ze skorupy pocisku wykonanej z materiału 45H1 (fragmentacja przypadkowa), który stanowi punkt odniesienia analizy. W części pierwszej artykułu przedstawiono najstarszy sposób nacinania wkładki odłamkowej, czyli w kształcie rombu. Pokazano odłamek powstający z tego typu wkładki oraz przedstawiono największą wadę tego typu nacinania. Następnie przedstawiono fragment wkładki odłamkowej wykonanej zgodnie z nacięciami Pearson'a. Efektywność tej metody jest ściśle uzależniona od grubości skorupy i rozstawu nacięć. Przedstawiono zmodyfikowane odłamki i uwypuklono podstawowe zalety tego rozwiązania. Nie jest to rozwiązanie optymalne o czym napisano w dalszej części artykułu opisującej metodę przeciwnych nacięć (w punkcie 2.3).

Analizę wykonano w ramach realizacji zadania naukowego „Prace badawczo-konstrukcyjne nad opracowaniem amunicji do 120 mm moździerzka samobieżnego RAK”.

**Słowa kluczowe:** odłamek, fragmentacja wymuszona, nacięcia Pearson'a, metoda przeciwnych nacięć

**Abstract:** Paper includes selected results of numerical strength calculations for fragmentation liners placed in the shells (crusts) of projectiles and for fragmentation of artillery shells (Table 1) performed by a component strain analysis and a finite element method (FEM) and executed by INVENTOR software of Autodesk company. Some exemplary shapes of fragments originating from the shell made of 45H1 material (random fragmentation) which are a reference basis of the analysis are presented in the paper. In the first part of the paper the oldest way of cutting the fragmentation liner according to diamond pattern is presented. A fragment created by this type of the liner and the most significant drawback of such type of cutting is presented. Next a fragment of the fragmentation liner made with Pearson notch is showed. The effectiveness of this method is strictly dependant on the shell body thickness and notch spacing. The modified fragments are showed and the main advantages of this solution are described. The solution is not optimal according to discussion presented further in the paper where a method of opposite grooving is presented (in chapter 2.3).

This analysis was carried out in the frame of R&D project entitled “Research and Development work on ammunition to 120 mm self-propelled mortar RAK”.

**Keywords:** fragment/shrapnel, forced fragment pattern, Pearson notch, technique of the opposed shell grooves

## 1. Wstęp

Typowy pocisk odłamkowy posiadał skorupę, która mieściła materiał wybuchowy (MW). Najprostsze pociski odłamkowe miały skorupy wykonane z jednolitego materiału charakteryzującego się wysoką zdolnością do fragmentacji, np. ze stali 45H1. Przykładowe kształty odłamków pochodzących z pocisków o fragmentacji przypadkowej pokazano na fot. 1.



**Fot. 1. Odłamki z pocisków nie posiadających wymuszonej fragmentacji.** Źródło: opracowanie własne

*Photo 1. Shell's fragments created without forced fragmentation. Origin: own development*

Obserwowany jest ciągły postęp w budowie amunicji o działaniu odłamkowym. Fragmentacja pocisków dostosowywana jest do wzrastającej kuloodporności współczesnych celów. Oprócz wozów bojowych coraz częściej lekkie opancerzenie posiadają także samochody używane nie tylko przez wojsko, a żołnierze wyposażeni są w kamizelki kuloodporne.

Skorupa mieszcząca MW może posiadać od wewnątrz nacięcia, które wstępnie narzucają wielkość powstających odłamków. Często między pojemnikiem a materiałem wybuchowym znajduje się specjalnie ukształtowana wkładka odłamkowa, z której zostaną wytworzone w miarę jednorodne odłamki. Taki pocisk nie musi trafić bezpośrednio w cel. Istotnym jest, aby cel znalazł się w polu rażenia odłamków. Zagadnienia związane z promieniem skutecznego rażenia oraz energią ki-

## 1. Introduction

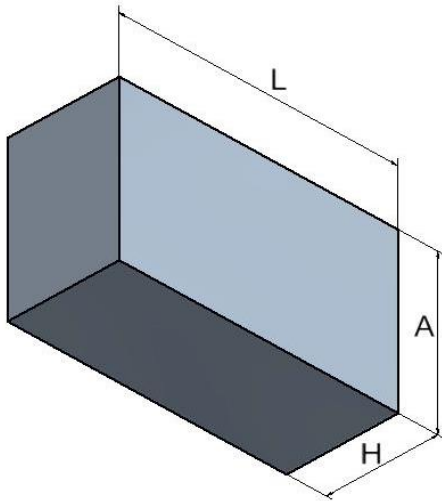
Typical fragmentation shell consists of a crust with explosive material (EM). The simplest fragmentation shells have the crusts made of homogeneous material that is characterised by a great ability of fragmentation, e.g. from 45H1 steel. Exemplary shapes of fragments created at casual fragmentation of shells are presented in photo 1.

There is a continuous progress in designs of fragmentation ammunition. Fragmentation of shells is adapted to increased resistance of nowadays targets against bullets. Light armours have been used recently not only by combat vehicles but the soldiers are equipped with bullet proof jackets as well.

The crust containing explosive material (EM) may have internal cuttings which influence the size of created fragments. Between the wall of the container and explosive material a specially shaped fragmentation liner is often placed to generate relatively uniform fragments. It is not necessary to hit a target directly by such projectile. It is sufficient if the target is within the efficient hitting range of fragments. There are some questions presented in [1] about the effective hitting radius and the kinetic

netyczną odłamka w chwili uderzenia w cel opisano w [1]. Ważna jest również gęstość odłamków skutecznych przypadająca na powierzchnię celu. Im większa jest gęstość odłamków skutecznych, tym większe jest prawdopodobieństwo trafienia pojedynczym odłamkiem w cel.

Odłamek można przedstawić jako prostopadłościan o długości  $L$ , szerokości  $A$  i wysokości  $H$  (rys. 1). Taka postać odłamka jest to uproszczeniem, gdyż w rzeczywistości ścianki odłamka nie są równoległe, kąty nie są proste, a dodatkowo ścianki boczne są postrzępione (fot. 1). Przyjęcie takiego schematu odłamka posłuży do analizy porównawczej odłamków o różnych kształtach, powstających podczas fragmentacji wymuszonej.



Odłamki z pocisków bez wymuszonej fragmentacji mają różną wielkość, a więc różną energię kinetyczną. Praktycznie przyjmuje się, że ze skorupy pocisku nie posiadającej fragmentacji wymuszonej ponad 60% jej masy, to masa odłamków użytecznych.

Dalej opisano kilka metod powstawania i wymuszania jednorodnych odłamków.

## 2. Fragmentacja wymuszona

### 2.1. Odłamek klasyczny - rombowy

Najbardziej popularnym kształtem odłamków wymuszonych, uzyskiwanych przez nacięcie wkładki odłamkowej, są odłamki w kształcie rombu. Fragment tak wykonanej wkładki odłamkowej pokazano na rys. 2.

energy of a fragment in the moment of hitting the target. Another important thing is the effective density of fragments hitting the target surface. Greater density of efficient fragments gives greater probability of hitting target by a single fragment.

A fragment may be figured out as a cuboid with length  $L$ , width  $A$  and height  $H$  (figure 1). Such representation of the fragment is a simplification as in reality the walls of the fragment are not parallel and angles are not right and the side walls are unequal (photo 1). The assumption of such model of the fragment will be used for a comparative analysis of fragments with different shapes generated at forced fragmentation.

**Rys. 1. Schemat uproszczonego (wyidealizowanego) odłamka.** Źródło: opracowanie własne

*Figure 1. Outline of a simplified (ideal) fragment.* Origin: own development

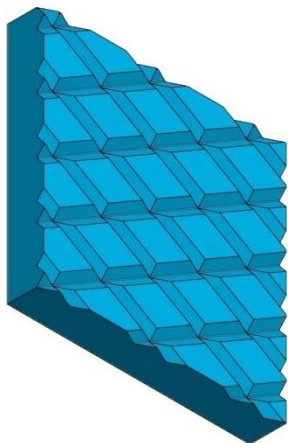
Fragments scattered by shells without forced fragmentation have different sizes and kinetic energy. There is a realistic assumption for the shell without forced fragmentation that more than 60% of its mass is the mass of efficient fragments.

Further some methods are presented for forced generation of uniform fragments.

## 2. Forced fragmentation

### 2.1. Classical diamond fragment

The diamond shape fragments belong to the most popular ones which are obtained by notching the fragmentation liner. A fragment of such liner is presented in figure 2.

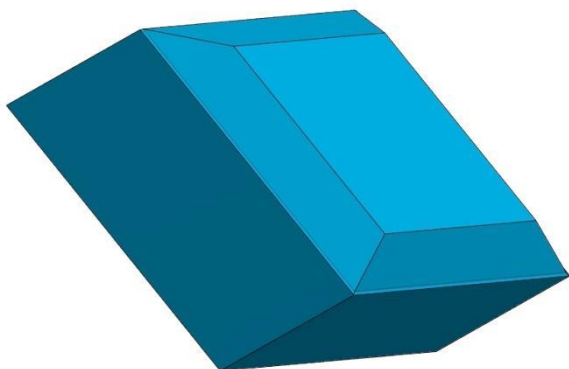


**Rys. 2. Fragment wkładki odłamkowej z nacięciami w kształcie rombu.** Źródło: opracowanie własne

*Fig. 2. Part of fragmentation liner with diamond shape notches. Origin: own development*

Podczas wybuchu ładunku MW duża część skorupy pocisku pęka wzdłuż tych nacięć. Niestety, część pęknięć przechodzi przez wstępnie uformowane odłamki w kształcie rombu a nie przez nacięcia. Wielkość uzyskanego odłamka zależy od rozstawu nacięć. Teoretyczny zarys odłamka przedstawiono na rys. 3.

During the explosion a significant part of the shell splits along the notches. Unfortunately some cracks pass across preliminary formed fragments in the shape of a diamond and not along the notches. The size of a fragment depends on spacing of cuts. Theoretical outline of a fragment is presented in fig. 3.



**Rys. 3. Teoretyczny odłamek z wkładki z nacięciami w kształcie rombu.** Źródło: opracowanie własne

*Fig. 3. Theoretical fragment from the liner with diamond shape cuttings. Origin: own development*

Uzyskane w praktyce odłamki posiadają nierównoległe postrzępione ścianki boczne.

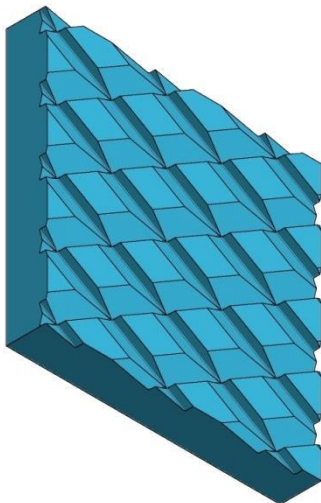
Real fragments have unequal and not parallel side walls.

## 2.2. Zmodyfikowany odłamek w kształcie rombu

## 2.2. Modified diamond shape fragment

W latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku John Pearson zmodyfikował sposób nacinania wkładki odłamkowej. Idea modyfikacji sprowadzała się do tego, że dwie ścianki odłamka skierowane w kierunku strzelania były prostopadłe do osi przewodu lufy. Fragment wkładki odłamkowej wykonanej zgodnie z nacięciami Pearson'a pokazano na rys. 4.

In the seventies of the last century John Pearson modified the way of fragmentation liner cutting. According to this modification two walls of the fragment directed towards the firing direction are vertical to the axis of the barrel. A part of the fragmentation liner made according with Pearson's cuttings is shown in figure 4.



**Rys. 4. Fragment wkładki odłamkowej z nacięciami Pearson'a.** Źródło: opracowanie własne

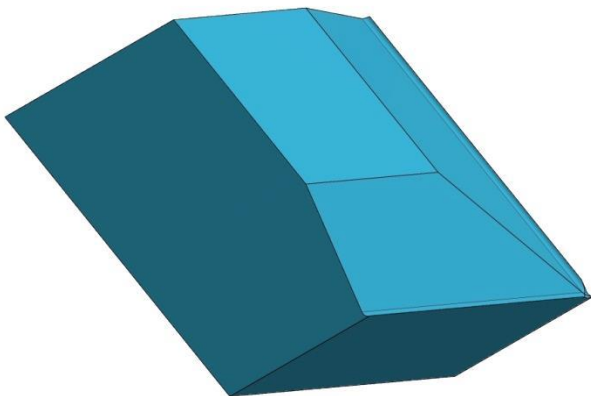
**Fig. 4. Part of fragmentation liner with Pearson's cuttings.** Source: own development

Odłamek powstały z nacięć Pearson'a pokazany jest na rys. 5. Główne zalety tego rozwiązania polegają na tym, że:

- ładunek MW jest lepiej podtrzymywany podczas strzału,
- podczas detonacji na ściankach naciętych prostopadle do osi pocisku występuje większy karb naprężeń, co z kolei powoduje, że łatwiej formują się odłamki,
- uzyskuje się większą ilość odłamków posiadających określone wymiary niż w przypadku nacięć w kształcie rombu.

Fragment created at Pearson's cuttings is presented in figure 5. There are following advantages of this solution:

- The charge of EM sticks better to wall at firing
- The walls that are cut perpendicularly to axis of the shell are affected by a greater streak of strains at detonation what facilitates the creation of fragments
- The greater number of fragments with specific sizes is created than in case of diamond shape cuts.



**Rys. 5. Teoretyczny odłamek z wkładki odłamkowej z nacięciami Pearson'a.** Źródło: opracowanie własne

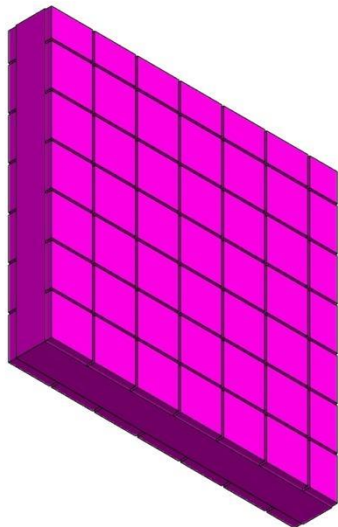
**Fig. 5. Theoretical fragment from a liner with Pearson's cuts.** Source: own development

Jak podano w [2] przy optymalnym doborze nacięć, tj. zachowując określony stosunek rozstawu nacięć do grubości wkładki odłamkowej, można uzyskać do 80% masy odłamków o kontrolowanej wielkości.

As it was shown in [2] it is possible to get up to 80% of weight for regular size fragments at optimally matched cuts i.e. at a specific ratio between the spacing of cuts and thickness of fragmentation liner.

### 2.3. Metoda przeciwnych nacięć

Metoda przeciwnych nacięć została wymyślona w latach siedemdziesiątych i jest dopracowywana. Jak sama nazwa wskazuje polega ona na nacinaniu wkładki odłamkowej od wewnątrz i od zewnątrz idealnie na wprost siebie. Fragment tego rodzaju wkładki odłamkowej pokazano na rys. 6, zaś powstały teoretyczny odłamek na rys. 7.



### 2.3. Method of opposite cuttings

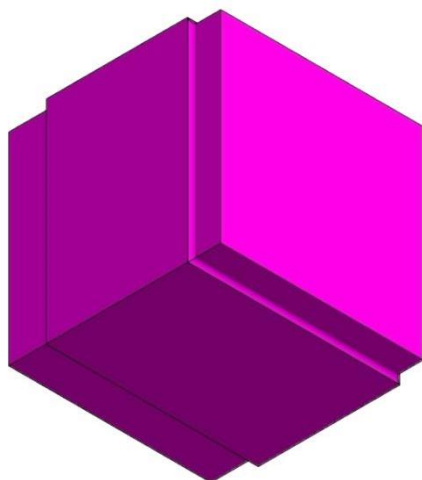
The method of opposite cuttings was invented in the seventies and still is under development. As its name suggests it is based on notching the inside and outside walls of the fragmentation liner along exactly opposite lines. A part of fragmentation liner of such type is shown in figure 6, and theoretical fragment in figure 7.

**Rys. 6. Fragment wkładki odłamkowej wykonanej metodą przeciwnych nacięć**

Źródło: opracowanie własne

*Fig. 6. Part of fragmentation liner made by the method of opposite cuttings*

Source: Own development



**Rys. 7. Teoretyczny odłamek z wkładki wykonanej metodą przeciwnych nacięć**

Źródło: opracowanie własne

*Fig. 7. Theoretical fragment from the liner made by the method of opposite cuttings*

Source: Own development

Teoretycznie, metoda przeciwnych nacięć jest bardzo prosta, jednak w praktyce należy dokładnie kontrolować głębokość nacięć, ponieważ wkładka w tych miejscach jest mocno osłabiona. Ponieważ istnieje duża różnica wytrzymałości między grubością wkładki w miejscu podcięcia i jej grubością w miejscu bez podcięcia, za pomocą tej metody z masy wkładki odłamkowej można

Theoretically the method of opposite cuttings is simple but in reality the depth of cuts has to be examined as the liner in these places is significantly weakened. As there is a great difference of liner's strength between the places with and without the notches this method provides up to 90% of efficient fragments from

uzyskać do 90% masy odłamków użytecznych.

### **3. Analiza wytrzymałościowa MES wybranych sposobów fragmentacji głowicy pocisku**

Na etapie projektowania analiza wyężenia komponentów z użyciem programu INVENTOR jest bardzo użyteczna do zobrazowania rozkładu naprężeń występujących w badanym elemencie składowym. Program ten oblicza naprężenia zredukowane występujące wewnątrz wkładki odłamkowej zgodnie z metodą H-M-H (Hubera-Misesa-Henck'ego). Aby sprawdzić teoretycznie, która z wyżej opisanych metod fragmentacji jest najbardziej efektywna, przyjęto następujące założenia do obliczeń:

- wkładki odłamkowe wykonane są ze stali o wytrzymałości  $Re=1000$  MPa,
- ciśnienie obliczeniowe wewnątrz wkładki odłamkowej wynosi 100 MPa,
- średnica wewnętrzna wkładki odłamkowej wynosi 70 mm, zaś zewnętrzna 82 mm,
- wszystkie nacięcia wykonywane są na głębokość  $1/3$  grubości ścianki czyli głębokość nacięcia wynosi 2 mm, zaś pozostała jednolita ścianka ma grubość 4 mm,
- w przypadku metody przeciwnych nacięć z obu stron wykonano nacięcie o głębokości 1 mm,
- promień zaokrąglenia ostrza noża którym wykonywano nacięcia wynosi 0,3 mm,
- dla wkładki odłamkowej bez nacięć wykonano podwójne obliczenia (średnica wewnętrzna 70 mm i 74 mm oraz średnica zewnętrzna dla obu przypadków 82 mm).

Analizę wytrzymałościowa MES przeprowadzono na wycinku  $1/4$  obwodu wkładki odłamkowej o długości 50 mm. Przykładową wkładkę bez nacięć o grubości 6 mm przedstawiono na rys. 8.

Uzyskane wyniki analizy wytrzymałościowej MES przedstawiono w tabeli 1.

the liner.

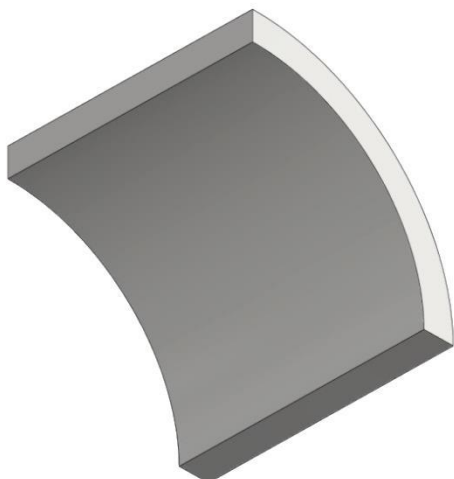
### **3. FEM strength analysis of selected methods of fragmentation of the projectile head**

The component strain analysis using INVENTOR program is often applied on the stage of design to illustrate the distribution of strains existing within a tested component. The program calculates the reduced strains existing inside the fragmentation liner according to H-M-H (Huber - Mises-Henck) method. Following assumptions are taken for calculations to check theoretically which of the above fragmentation methods is the most effective one:

- Fragmentation liners are made of the steel with the strength of  $Re=1000$  MPa
- Pressure for calculation inside the fragmentation liner is 100 MPa
- Internal and external diameters of the fragmentation liner are 70 and 82 mm respectively
- All cuts are made on the depth of  $1/3$  of the wall thickness i.e. the depth of cutting is 2 mm and remaining uniform wall has the thickness of 4 mm
- In the case of the method of opposite cuttings the both sides are cut in the depth of 1 mm
- The radius of cutting tool tip for making cuts is 0.3 mm
- For the fragmentation liner without any cuts the double calculations were carried out (for internal diameters of 70 mm and 74 mm and external diameter of 82 mm for both cases).

The strength analysis by FEM was carried out for a part of  $1/4$  of fragmentation liner perimeter having the length of 50 mm. An exemplary liner without cuts with 6 mm thickness is presented in figure 8.

Obtained results of FEM strength analysis are presented in table 1.



**Rys. 8. Fragment korpusu lub wkładki odłamkowej bez nacięć o grubości 6 mm.**  
Źródło: opracowanie własne

**Fig. 8. A part of the shell body or fragmentation liner without cuts with 6 mm thickness.**  
Source: Own development

Tabela 1/Table 1

Lp. No	Rodzaj korpusu lub wkładki odłamkowej / Type of the shell body or fragmentation liner	Naprężenie zredukowane [MPa] / Reduced strain	Przemieszczenie promieniowe [mm] / Radial displacement
1	Bez nacięć	695	0,1112
2	Without cuts	1 035	0,1775
3	Z nacięciami w kształcie rombu Diamond shape cuts	3 449	0,1402
4	Z nacięciami Pearson'a Pearson's shape cuts	4 300	0,3959
5	Z nacięciami przeciwnymi Opposite cuts	3 302	0,1349

Z otrzymanych obliczeń wynika, że na obwodzie wkładki odłamkowej z nacięciami Pearson'a powstaną największe naprężenia, a więc najłatwiej będą kształtowały się te odłamki. Wkładki z nacięciami w kształcie rombu oraz wykonane metodą przeciwnych nacięć są równoważne. W przypadku wkładki bez nacięć warianty wytrzymają ciśnienie wewnętrzne 100 MPa. Wyniki świadczą o wyraźnym oddziaływaniu karbu strukturalnego powstałego na skutek nacięć Pearson'a.

Dla ostatniego wariantu przedstawionego w tabeli 1 naprężenia zredukowane są wprawdzie mniejsze od nacięć Pearson'a, jednak odłamki powstałe w wyniku przeciwnych nacięć mają kształt zbliżony do sześciangu, mają mniejszy rozrzut donośności na torze lotu i jednocześnie kształt ich zapewnia skuteczne

According to results of calculations the highest strains are on the perimeter of fragmentation liner with Pearson's shape cuts facilitating creation of fragments in the greatest degree. The liners with diamond shape cuts and made by method of opposite cuts are equivalent. In case of liner without cuts both versions withstand internal pressure of 100 MPa. The results indicate that there is direct impact of strain structural streak created by Pearson's cuts.

Even if in the last option presented in table 1 the reduced strain is smaller than for Pearson's cuts, but the fragments created at opposite cuts are similar to cuboids, and the differences of their range are smaller, and at the same time their form provides the efficient hitting of target and



działanie u celu powodując duże i postrzępione rany. Zgodnie z tym, co opisano w [2]; metoda przeciwnych nacięć wkładki odłamkowej jest obecnie najbardziej preferowana.

## 5. Podsumowanie

Budowa pocisku odłamkowego ewoluowała na przestrzeni lat, co zostało przedstawione w opracowaniach [3, 4, 5, 6 i 7]. Związane było to między innymi ze zmianą własności fizyko-chemicznych materiałów wybuchowych. Obecnie pociski odłamkowe elaborowane są mało wrażliwymi materiałami wybuchowymi. Kolejnym czynnikiem mającym wpływ na budowę głowicy odłamkowej jest postęp w osiąganiu coraz lepszych parametrów taktyczno-technicznych sprzętu artyleryjskiego. Większe zasięgi strzelania powodują większe przeciążenia, a co za tym idzie wymagają pocisków o nowej konstrukcji. Zwiększenie kuloodporności celów również wywarło duży wpływ na budowę głowic odłamkowych. Współcześnie odchodzi się od głowic o fragmentacji dowolnej, na rzecz wstępnej fragmentacji odłamków przeznaczonych do rażenia konkretnego celu. Ważną staje się obecnie symetria powstających odłamków, a co za tym idzie ujednorodnienie masy odłamków i ich prędkości u celu, aby uzyskać największą liczbę odłamków skutecznych efektywnie działających na cel.

Prace badawcze nad opracowaniem nowych głowic odłamkowych są w toku.

serious injuries. According to information included in [2] the method of opposite cuts of fragmentation liner is the most preferred now.

## 5. Summary

The design of fragmentation shells has been evolving for years what was presented in works [3, 4, 5, 6 and 7]. It was connected in some degree with the change of explosive materials physical-chemical characteristics. The fragmentation shells are now filled with insensitive explosive materials. Next factor influencing the design of the fragmentation head is the progress in tactical-technical performance of artillery equipment. Increased ranges of firing cause greater overloads what creates a demand for projectiles of new designs. The increase of target resistance level against bullets had also a significant impact into the design of fragmentation heads. Currently a trend is observed from random fragmentation heads to a prior fragmentation of fragments designated for hitting a specific target. Symmetry of created fragments becomes now an important factor at getting similar weights and velocities of fragments at the target and finally the greatest percentage of efficient fragments acting into it.

R&D work on developing new fragmentation heads is continued.

## Literatura / Literature

- [1] Piątek B., Zarzycki B.: *Zamienniki odłamków*, WITU, Problemy Techniki Uzbrojenia, Zeszyt 137, Nr 1 2016, s. 39-45
- [2] Waggener S.: *The evolution of air target warheads*, International symposium on ballistics, Tarragona, Spain 16-20 April 2007
- [3] *Amunicja Wojsk Lądowych*: Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa 1985, Uzbr. 2307/83
- [4] Kowalewski K.: *Granaty odłamkowe i balistyka lotu odłamków*, WITU, Problemy Techniki Uzbrojenia i Radiolokacji, Zeszyt 28 / 1981, s. 5-19
- [5] Furmanek W.: *Sposoby zwiększenia efektywności rażenia współczesnej odłamkowej i odłamkowo-burzącej amunicji artyleryjskiej*, Zeszyty Naukowe WOSL, Nr 1 (167) 2013, s. 95-112

- [6] Pogorzelski F., *Ocena skuteczności rażenia ludzi i sprzętu wojskowego odłamkami granatów*, WITU, Problemy Techniki Uzbrojenia i Radiolokacji, Zeszyt 40 / 1987, s. 23-32
- [7] Nr arch. alb. OBR: 0-0145 Temat: *Opracowanie 120 mm naboju moździerzowego z granatem odłamkowo-burzącym o wymuszonej fragmentacji i zwiększonym działaniu odłamkowo-burzącym, Kryptonim: „NIOB”, Etap 5.2: Badanie fragmentacji kadłubów II partii prototypowej wyrobów*, 1984

Praca finansowana przez Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia w ramach realizacji pracy nr R1/930/00 na temat „Prace badawczo-konstrukcyjne nad opracowaniem amunicji do 120 mm moździerza samobieżnego RAK”

*The work has been financed by the Military Institute of Armament Technology in the frame of the project No R1/930/00 titled „Research-design Work on Development Ammunition to 120 mm Self-propelled Mortar”*

