

## **WARUNKI BEZPIECZEŃSTWA I NIEZAWODNEGO UZBRAJANIA SIĘ NOWOPRACOWYWANYCH ZAPALNIKÓW DO AMUNICJI WYSTRZELIWANEJ ZE 120 MM MOŹDZIERZA SAMOBIEŻNEGO RAK**

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono koncepcję nowego mechanizmu zabezpieczająco-uzbrajającego do zapalników przeznaczonych do uzbrajania amunicji wystrzeliwanej ze 120 mm moździerz samobieżnych RAK. Ponadto podano kryteria bezpieczeństwa i niezawodnego uzbrajania się, które musi spełnić nowo opracowany zapalnik. W artykule przedstawiono również analizę uzbrajania się zapalnika w warunkach dynamicznych (wyrzut i lot pocisku).

Słowa kluczowe: zapalnik, mechanizm zabezpieczająco-uzbrajający, moździerz.

## **SAFETY AND ARMING CONDITIONS OF THE NEWLY DEVELOPED FUSES FOR THE AMMUNITION FIRED FROM THE RAK 120 MM SELF-PROPELLED MORTAR**

**Abstract:** In the paper the conception of a new safety and arming device for fuses was presented. The fuses are designed for the ammunition fired from the RAK 120 mm self-propelled mortar. The basic criteria of safety and arming that the newly developed fuse has to fulfill were described. The paper also presents the dynamical analysis of fuse arming process.

Keywords: fuse, safety and arming device, mortar.

### **1. Wstęp**

Zapalniki, jako urządzenia inicjujące zadziałanie pocisku muszą spełniać wysokie wymagania bezpieczeństwa. Powinny posiadać, co najmniej dwa rozdzielne funkcjonalnie zabezpieczenia chroniące przed niezamierzonym uzbrojeniem i przynajmniej jedno z nich musi zapewniać osiągnięcie bezpiecznej odległości uzbrojenia od stanowiska ogniowego [1].

W celu zapewnienia bezpieczeństwa w stanie nieuzbrojonym oraz w celu uzbrajania zapalników stosuje się mechanizm zabezpieczająco-uzbrajający.

Urządzenia te mają na celu zapobieganie uzbrojeniu się zapalnika do chwili spełnienia szeregu warunków i następnie umożliwienie zadziałania pocisku.

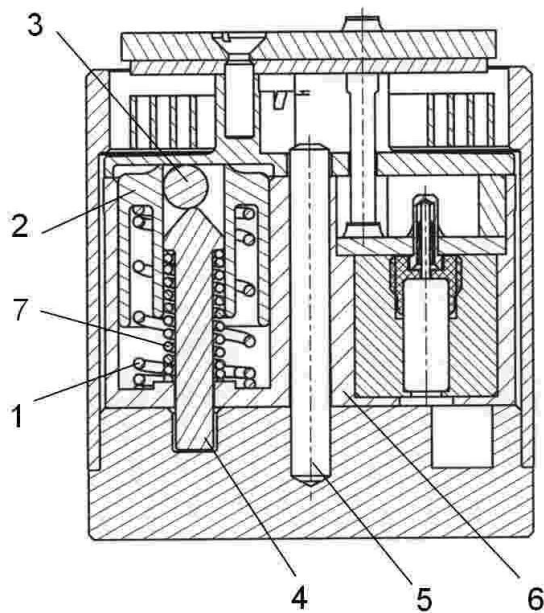
Urządzenia te wykorzystują zjawiska fizyczne występujące podczas strzału i na torze lotu. Zaliczamy do nich [2]:

- przyśpieszenie poosiowe (siła bezwładności) podczas ruchu pocisku w lufie,
- przyśpieszenie poosiowe (siła bezwładności) na aktywnym odcinku toru lotu,
- prędkość obrotowa (siła odśrodkowa) podczas ruchu pocisku w lufie i na torze lotu,
- ciśnienie atmosferyczne,

- opóźnienie wywołane oporem powietrza na torze lotu (siły nabiegania),
- ciśnienie gazów prochowych w komorze naboju,
- ciśnienie robocze w komorze silnika raketowego,
- stan nieważkości (przyśpieszenie wynoszące 0),
- działania podjęte w celu użycia (miotania) amunicji.

## 2. Koncepcja mechanizmu zabezpieczająco-uzbrajającego (MZU)

Budowa MZU oparta jest na konstrukcji zapalnika RGM-2. Nowo opracowany zapalnik wyposażony jest w bezwładnikowy MZU z bezpiecznikiem sprężynowym. Rysunek (Rys.1) przedstawia MZU zapalnika.



**Rys. 1. MZU zapalnika. 1-sprężyna bezwładnika, 2-bezwładnik, 3-kulka blokująca rygiel, 4-rygiel, 5-oś obrotu obsady sponki, 6-obsada sponki, 7-sprężyna rygla.**

Zasada działania mechanizmu jest następująca. Kulka stalowa (3) uniemożliwia ruch rygla (4) przesunąć się w górę, a tym samym nie pozwala na obrót obsady sponki (6) do pozycji „uzbrojony”. Pod działaniem siły bezwładności działającej w czasie strzału, bezwładnik (2), pokonując opór sprężyny (1), przesuwa się w dół, co umożliwia stalowej kulce (3) przemieszczenie się z otworu, w którym porusza się rygiel do przestrzeni ponad bezwładnikiem. Po wylocie pocisku z lufy, gdy zmienia się układ sił działających na zapalnik, bezwładnik może powrócić do swojej pierwotnej pozycji. Brak blokującej kulki w komorze rygla pozwala na ruch rygla do góry pod działaniem sprężyny rygla (7), co umożliwi obrót obsady sponki do pozycji „uzbrojony”. Sztywność sprężyn jest tak dobrana, aby rygiel podniósł się szybciej niż bezwładnik. Zabezpiecza to przed ponownym zablokowaniem rygla przez kulkę.

Przyjęto, następujące kryterium bezpieczeństwa i niezawodnego uzbrojenia [3]:

$$1500 \leq \frac{R_{sp}}{m_{bz} \cdot g} \leq \frac{2}{3} \cdot k_l = \frac{2}{3} \cdot \frac{F_{maks}}{m_{bz} \cdot g} \quad (1)$$

, gdzie:

$F_{maks}$  – maksymalna siła działająca na bezwładnik w czasie strzału,

- $m_{bz}$  – masa bezwładnika,
- $g$  – przyspieszenie ziemskie,
- $k_l$  – współczynnik przyśpieszenia liniowego,
- $R_{sp}$  – siła sprężyny w momencie, gdy bezwładnik znajduje się w pozycji umożliwiającej przemieszczenie się kulki zabezpieczającej.

Powyższe warunki obowiązują dla bezwładnikowych mechanizmów zabezpieczająco-uzbrajających z bezpiecznikiem sprężynowym.

Aby spełnić kryterium bezpieczeństwa i niezawodnego uzbrajania się, bezwładnik i sprężyna zabezpieczająca powinny być tak dobrane żeby powyższy układ nierówności był prawdziwy

### 3. Kryterium uzbrajania się zapalnika

Kryterium uzbrajania (1) można zapisać w następującej formie:

$$\frac{R_{sp}}{m_{bz} \cdot g} \leq \frac{2}{3} \cdot k_l = \frac{2}{3} \cdot \frac{F_{maks}}{m_{bz} \cdot g} = \frac{2}{3} \cdot \frac{p_{maks}}{m_{poc} \cdot g} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (2)$$

gdzie:

- $p_{maks}$  – maksymalne ciśnienie gazów prochowych (dla najmniejszego przewidywanego do stosowania ładunku),
- $m_{poc}$  – całkowita masa pocisku,
- $d$  – kaliber pocisku.

Dla amunicji przeznaczonej do 120 mm samobieżnego moździerzka RAK, w celu uzyskania wymaganych donośności, przewiduje się zastosowanie czterech lub pięciu ładunków miotających. Powinny one zapewnić uzyskanie prędkości początkowych pocisków od 180 m/s do 450 m/s. Krytyczne warunki uzbrajania się zapalnika występują przy strzelaniu ładunkiem najmniejszym (ładunkiem pierwszym). Maksymalne ciśnienie gazów prochowych dla tego ładunku wynosi  $p_{maks} = 28$  MPa.

Podstawiając do równania (2) następujące wartości:

$$\begin{aligned} p_{maks} &= 28 \text{ MPa}; \\ m_{poc} &= 15,5 \text{ kg}; \\ g &= 9,81 \text{ m/s}^2; \\ d &= 120 \text{ mm}; \end{aligned}$$

otrzymamy:

$$\frac{R_{sp}}{m_{bz} \cdot g} < \frac{2}{3} \cdot \frac{28 [\text{MPa}]}{15,5 [\text{kg}] \cdot 9,81 [\text{m/s}^2]} \cdot \frac{\pi \cdot (0,12 [\text{m}])^2}{4} = 1388,9 \quad (3)$$

Sztywność sprężyny została dobrana tak, aby wypełnić kryterium niezawodnego uzbrajania. Stosunek siły sprężyny do ciężaru bezwładnika wynosi:

$$\frac{R_{sp}}{m_{bz} \cdot g} = \frac{k \cdot l_{uz}}{m_{bz} \cdot g} = 532 \quad (4)$$

Występujące we wzorze, a nie opisane wcześniej symbole oznaczają:

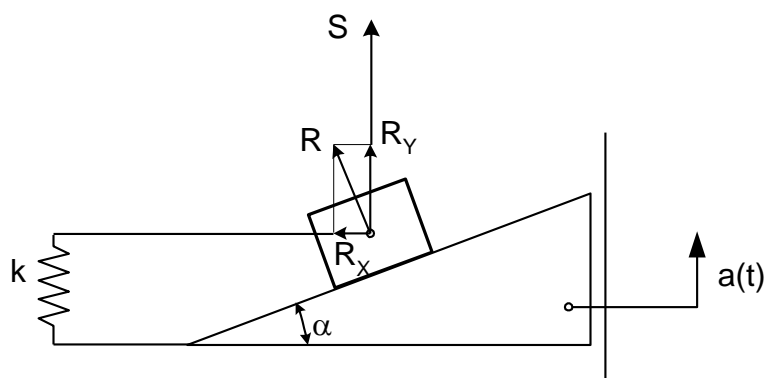
$k = 1,856 \text{ N/mm}$  – sztywność sprężyny;

$l_{uz} = 6,15 \text{ mm}$  – minimalne ugięcie sprężyny konieczne do uzbrojenia się mechanizmu, odpowiadające przesunięciu się bezwładnika o wielkość równą średnicy kulki.

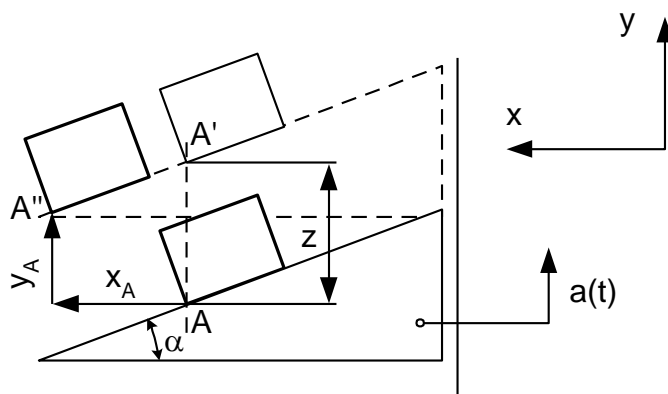
#### 4. Analiza uzbrajania się zapalnika w warunkach dynamicznych

W celu sprawdzenia czy MZU uzbroi się przy strzelaniu na najmniejszym ładunku przeprowadzono obliczenia.

Równania ruchu elementów zapalnika zostały wyprowadzone dla modelu przedstawionego na Rys. 3 i Rys. 4.



Rys. 2. Model dynamiczny układu bezwładnik-sprężyna-korpus.

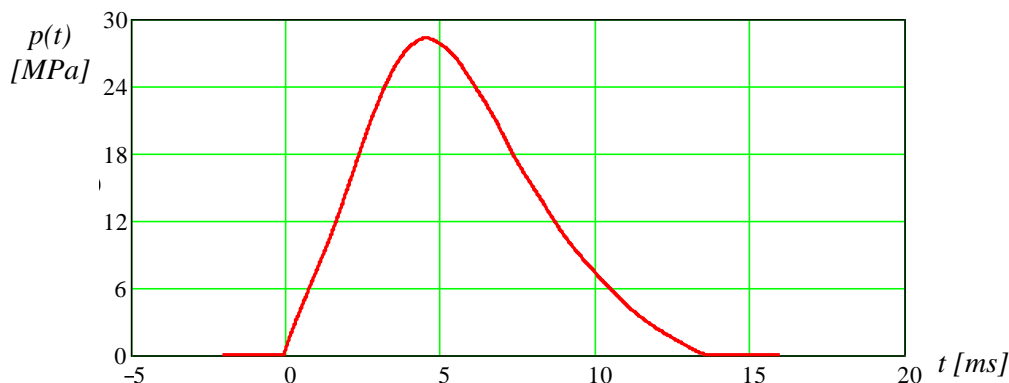


Rys. 3. Przyjęty układ współrzędnych.

Przedstawione na rysunkach elementy reprezentują odpowiednio: równia pochyła - korpus zapalnika, prostokąt – bezwładnik. Kąt nachylenia równi pochyłej ( $\alpha$ ) odpowiada nachyleniu linii rowka w bezwładniku. Na korpus zapalnika działa zadane przyspieszenie  $a(t)$ . Bezwładnik połączony jest z podstawą (korpus zapalnika) za pomocą sprężyny. Ściskanie lub rozciąganie sprężyny jest zgodne z ruchami podstawy oraz bezwładnika. Równania ruchu zostały wyprowadzone bez uwzględnienia sił tarcia.

Obliczenia przeprowadzono w systemie MathCAD.

Funkcję  $a(t)$  wyznaczono na podstawie rzeczywistego przebiegu ciśnienia gazów prochowych w lufie zarejestrowanego w czasie badań poligonowych moździerza samobieżnego RAK, przy strzelaniu na najmniejszym ładunku. Przebieg zarejestrowanego ciśnienia przedstawiono na rysunku Rys. 4.



**Rys. 4. Przebieg ciśnienia w lufie zarejestrowany w czasie prób poligonowych samobieżnego moździerza RAK. Ładunek najmniejszy.**

Układ równań opisujący ruch bezwładnika:

$$\begin{cases} y = z - x \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \\ y'' = a(t) - x'' \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \\ z'' = a(t) \\ m \cdot x'' = R \cdot \sin(\alpha) \\ m \cdot y'' = R \cdot \cos(\alpha) + k(z - y + \Delta s_0) \end{cases} \quad (5)$$

gdzie:

- $x, y$  – współrzędne przemieszczenia bezwładnika,
- $z$  – współrzędna pionowa przemieszczenia korpusu zapalnika,
- $a(t)$  – wymuszone przyspieszenie korpusu zapalnika,
- $m$  – masa bezwładnika,
- $R$  – siła reakcji podstawy (korpusu zapalnika) na bezwładnik,
- $k$  – sztywność sprężyny,
- $\Delta s_0$  – wstępne napięcie sprężyny,
- $\alpha$  – kąt nachylenia rowka prowadzącego.

Należy zaznaczyć, że powyższy układ równań odpowiada stanowi, gdy bezwładnik przemieści się względem korpusu i siła sprężyny, ani jej część, nie będzie równoważona przez siłę reakcji korpusu. W chwili rozpoczęcia wystrzału, gdy wartość przyspieszenia działającego na zapalnik jest mała bezwładnik porusza się razem z korpusem zapalnika. Przemieszczenia bezwładnika i korpusu są jednakowe. Bezwładnik doznaje przyspieszenia pod wpływem

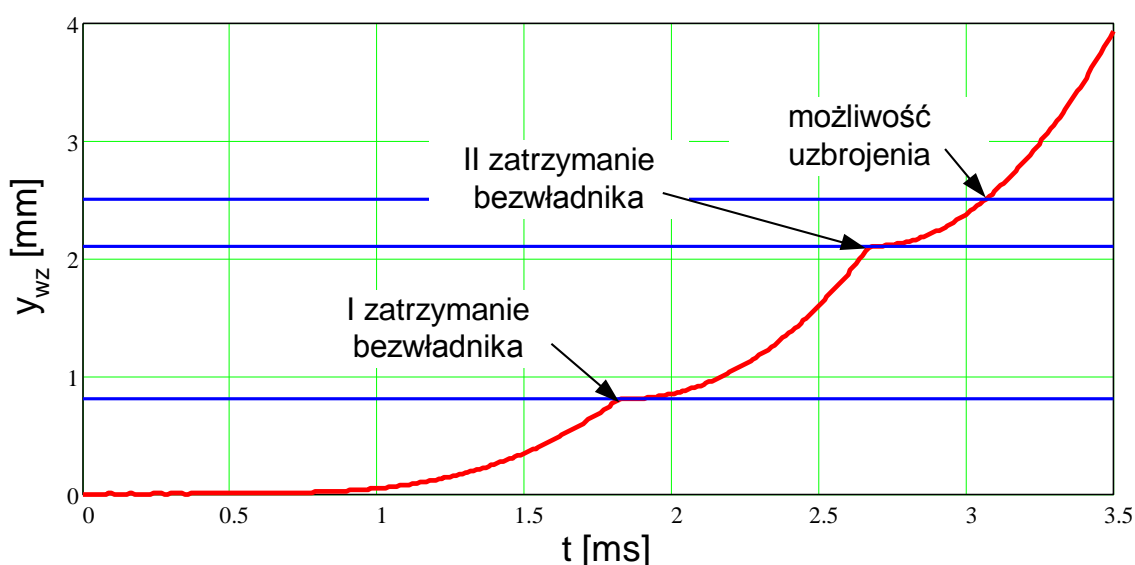
działania siły reakcji korpusu oraz siły działania sprężyny. Część siły sprężyny jest równoważona przez siłę reakcji korpusu, która działa na bezwładnik za pośrednictwem kulki blokującej rygiel. Układ sił działających na bezwładnik jest taki, że siła wypadkowa nadaje bezwładnikowi przyspieszenie równe co do wartości przyspieszeniu korpusu. Gdy ciśnienie gazów prochowych wzrośnie i siły bezwładności przewyższą siłę napięcia sprężyny, rozpoczyna się ruch bezwładnika względem korpusu zapalnika. Efekt ten został uwzględniony w czasie wykonywania obliczeń w systemie MathCAD.

W czasie ruchu pocisku w lufie prędkość bezwładnika względem korpusu zapalnika rośnie. Dzieje się tak aż do chwili, gdy kołek prowadzący osiągnie położenie, w którym zmienia się kierunek rowka prowadzącego w bezwładniku. Następuje w tedy zatrzymanie bezwładnika względem korpusu zapalnika i wyrównanie ich prędkości liniowych. Na kolejnym odcinku sytuacja się powtarza. Ostatecznie bezwładnik osiąga swoją dolną pozycję względem korpusu zapalnika.

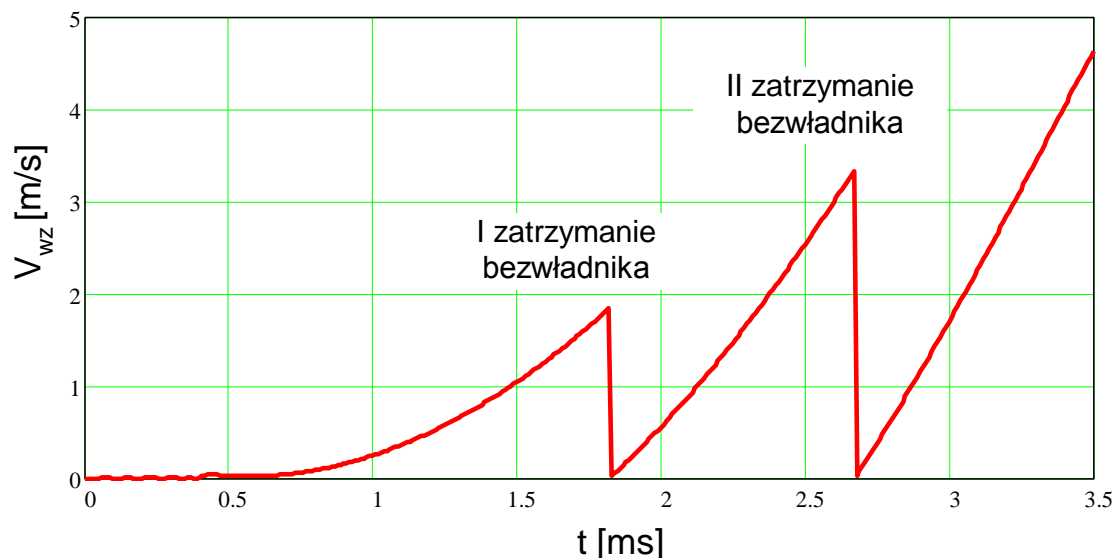
Całkowite uzbrojenie zapalnika następuje na torze lotu pocisku, ale momentem krytycznym jest chwila, w której kulka zabezpieczająca zostanie wypchnięta z otworu rygla blokującego obrót obsady spłonki. Trudno dokładnie ocenić, w którym momencie ma to miejsce. Można natomiast jednoznacznie określić, w jakim położeniu bezwładnika względem korpusu zapalnika może to wystąpić. Nastąpi to gdy przemieszczenie bezwładnika wyniesie 2,5 mm i będzie równe średnicy kulki, gdyż taki warunek uzbrojenia został przyjęty.

W tabeli zostały przedstawione uzyskane wyniki obliczeń.

Etap	Czas	Przem. zapalnika	Przem. bezwładnika	Przem. względne	Prędkość zapalnika	Prędkość bezwładnika	Uwagi
	<b>t</b>	<b>z</b>	<b>y</b>	<b>dy=z-y</b>	<b>Vz</b>	<b>Vy</b>	
	[ms]	[mm]	[mm]	[mm]	[m/s]	[m/s]	
1	1.822	5.37	4.57	0.8	8.67	6.83	I zatrzymanie bezwładnika
2	2.674	16.80	14.70	2.1	18.87	15.53	II zatrzymanie bezwładnika
3	3.069	25.44	22.94	2.5	25.01	22.93	możliwość uzbrojenia się



Rys. 5. Przesunięcie względne bezwładnika ( $y_{wz}$ ), przesunięcie względem korpusu zapalnika



**Rys. 6. Prędkość względna bezwładnika ( $V_{wz}$ ), prędkość względem korpusu zapalnika**

Obliczenia przeprowadzono dla modelu nie uwzględniającego sił tarcia. Wskazują one jednak na istnienie dużego zapasu niezawodności uzbrojenia się i pozwalają stwierdzić, że konstrukcja mechanizmu ZU zapewnia uzbrojenie się zapalnika w czasie strzału na najmniejszym ładunku.

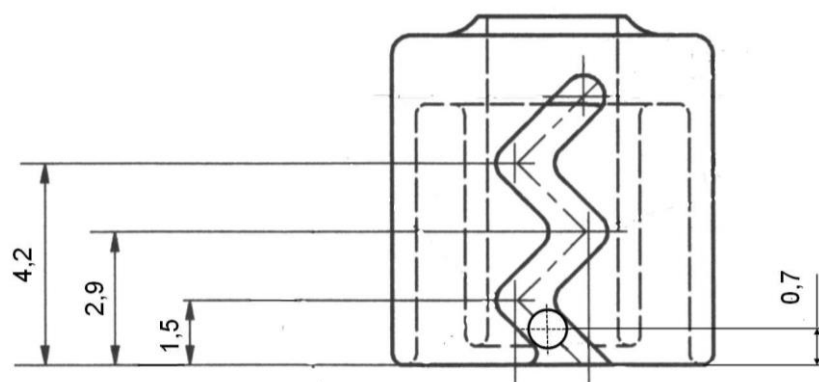
### Bezpieczeństwo zapalnika

W poprzednim punkcie obliczono współczynnik bezpieczeństwa wyrażony jako stosunek siły reakcji sprężyny do ciężaru bezwładnika. Jego wartość wynosi 532, a po uwzględnieniu sił tarcia wzrasta do wartości około 680. Są one jednak znacznie mniejsze od wymaganej wartości 1500, przyjętej na drodze doświadczeń za bezpieczną dla mechanizmów bezwładnikowych ze sprężyną jako bezpiecznikiem.

$$\frac{R_{sp}}{m_{bz} \cdot g} = 532 < 1500 \quad (6)$$

Warunek nie został spełniony. Co więcej, jednoczesne spełnienie kryterium niezawodności uzbrajania i bezpieczeństwa nie jest możliwe. Dotyczy to jednak modelu uproszczonego, sprężyna-bezwładnik bez rowka prowadzącego i nie dyskwalifikuje konstrukcji.

Uznano, że sztywność sprężyny jest za mała. W celu spełnienia warunku bezpieczeństwa zapalnika, został wprowadzony dodatkowy element ograniczający ruch bezwładnika. W zapalniku zastosowano mechanizm zabezpieczająco-uzbrajający z prowadzonym bezwładnikiem. Połączony na stałe z korpusem zapalnika kołek może się poruszać wewnątrz zygzakowato wyciętego w bezwładniku rowka prowadzącego. Kołek wymusza określony ruch bezwładnika i gdy osiąga położenie, w którym kierunek nacięcia rowka zmienia się, wyhamowuje bezwładnik. Wymiary elementów są tak dobrane aby zapewnić dwukrotne zatrzymanie bezwładnika do momentu osiągnięcia przez bezwładnik położenia, w którym kulka blokująca rygiel może wypaść.



**Rys. 7. Wzajemne położenie bezwładnika i kolka prowadzącego po zmontowaniu zapalnika**

Podsumowując, zastosowanie konstrukcji mechanizmu zabezpieczająco-uzbrajającego z bezwładnikiem z ruchem wymuszonym zapewnia spełnienie wymaganego warunku bezpieczeństwa użytkownika zapalnika.

## 5. Podsumowanie

Przedstawiona w artykule analiza procesu uzbrajania się MZU w warunkach dynamicznych (podczas wystrzału) pozwala stwierdzić, że wybrane rozwiązania konstrukcyjne zapewnią wymaganą niezawodność uzbrajania się i odpowiedni stopień bezpieczeństwa zapalnika przy strzelaniu na wszystkich ładunkach.

Przed zastosowaniem nowo opracowanych zapalników w amunicji do 120 mm samobieżnego moździerza RAK należy sformułowaną w tym artykule ocenę niezawodności i bezpieczeństwa zapalnika potwierdzić w praktyce poprzez przeprowadzenie badań na rzeczywistych zapalnikach.

## Literatura

- [1] NO-13-A001: 2010, Amunicja i jej części składowe Zapalniki Terminologia
- [2] NO-13-A233: 2006, Systemy zapalnikowe Zapewnienie bezpieczeństwa Wymagania konstrukcyjne
- [3] Wasiliewa M., *Teoria projektowania zapalników*, Wydawnictwo MON, Warszawa, 1955