

Mgr inż. Kamil Sybilski, email: [ksybilski@wat.edu.pl](mailto:ksybilski@wat.edu.pl)

Wojskowa Akademia Techniczna

Dr inż. Robert Panowicz, email: [rpanowicz@wat.edu.pl](mailto:rpanowicz@wat.edu.pl)

Wojskowa Akademia Techniczna

Mgr inż. Damian Kołodziejczyk, email: [dkolodziejczyk@wat.edu.pl](mailto:dkolodziejczyk@wat.edu.pl)

Wojskowa Akademia Techniczna

Prof. Dr inż. Tadeusz Niezgodą, email: [tniezgoda@wat.edu.pl](mailto:tniezgoda@wat.edu.pl)

Wojskowa Akademia Techniczna

Dr hab. Inż. Wiesław Barnat, email: [wbarnat@wat.edu.pl](mailto:wbarnat@wat.edu.pl)

## OPRACOWANIE I BADANIA PORÓWNAWCZE MODELU ZAPALNIKA WP-7

Streszczenie : W prezentowanej pracy zostaną przedstawione wyniki badań eksperymentalnych i numerycznych zapalnika pocisku z głowicą kumulacyjną typu RPG – 7. Badania eksperymentalne były realizowane na stanowisku badawczym wyposażonym w uchwyt z możliwością zmiany kąta pochylenia zapalnika oraz prowadnicę wzdłuż której upuszczane były ciężarki o określonej masie. W trakcie doświadczenia mierzony był za pomocą oscyloskopu przebieg impulsu elektrycznego występującego na obwodzie zapalnika. Następnie na podstawie geometrii zapalnika został wykonany jego model numeryczny bazujący na metodzie elementów skończonych. Wykorzystując wyniki badań eksperymentalnych określono warunki, jakie muszą zająć w modelu numerycznym, aby został wygenerowany impuls elektryczny zdolny do odpowiedniego pobudzenia materiału wybuchowego.

## OPRACOWANIE I BADANIA PORÓWNAWCZE MODELU ZAPALNIKA WP-7

Abstract: The paper presents the results of experimental and numerical studies of a fuse of a missile with a RPG-7 cumulative head. The experimental studies were carried out at the testing stand equipped with the holder with the possibility of changing the fuse angle of inclination as well as with a slideway along which the weights with the agreed mass were being dropped. During the experiment, the run of the electric impulse occurring on the fuse circumference was measured with the use of an oscilloscope. Next, on the basis of the fuse geometry, its numerical model based on the finite element method was prepared. The conditions required in the numerical model to generate an electric impulse capable to stimulate the explosive material were determined with the use of experimental tests.

### 1. WPROWADZENIE

Obserwując trwające obecnie konflikty zbrojne na świecie oraz działania prowadzone przez oddziały wojska polskiego w ramach misji stabilizacyjnych można zauważyć zmianę sposobu walki oraz wykorzystania dostępnych środków ogniowych. Obecnie największe zagrożenie niosą ze sobą dwa rodzaje środków ogniowych. Do pierwszego z nich zaliczamy różnego rodzaju miny i improwizowane ładunki wybuchowe (ang. Improvised Explosive Devices – IED), których zasadniczym czynnikiem niszczącym jest fala ciśnienia powstająca na skutek eksplozji materiału wybuchowego. Dodatkowym

czynnikiem rażącym, w przypadku IED, są różnego typu odłamki (kulki, gwoździe, śruby itp.) umieszczane wewnątrz lub na ładunku wybuchowym. Do drugiej grupy najniebezpieczniejszych środków ogniowych zaliczamy pociski z głowicami kumulacyjnymi. Z uwagi na ich niski koszt produkcji, prostotę obsługi, dużą przebijalność (sięgającą nawet do 900 mm stali pancernej RHA [1]) pociski te są bardzo często wykorzystywane do niszczenia wojskowych pojazdów opancerzonych oraz szeregu obiektów o znaczeniu strategicznym.

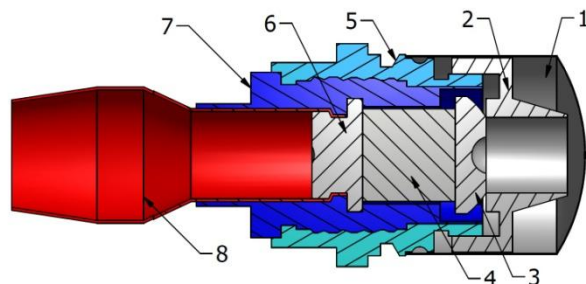
Jednym ze sposobów obrony przeciw pociskom z głowicą kumulacyjną są pancerze prętowe. Ich zasada działania opiera się na doprowadzeniu do uszkodzenia kluczowych elementów pocisku lub zwarcia układu elektrycznego podczas zderzenia pocisku z elementami pancerza. W pierwszym przypadku dochodzi do detonacji materiału wybuchowego, lecz jego wymiary zewnętrzne jak również wymiary wkładki kumulacyjnej i materiału wybuchowego wybiegają poza wartości dopuszczalne, czego skutkiem jest powstawanie strumienia kumulacyjnego o mniejszej sile niszczącej, a w skrajnym przypadku jedynie deflagracji. W drugim przypadku impuls elektryczny nie dociera do spłonki pobudzającej materiał wybuchowy, a zatem nie dochodzi do jego detonacji i formowania strumienia kumulacyjnego.

Impuls elektryczny pobudzający materiał wybuchowy pochodzi z głowicowej części zapalnika znajdującego się w najbardziej wysuniętym do przodu miejscu pocisku. Z punktu widzenia skuteczności pancerza prętowego takie usytuowanie zapalnika jest niekorzystne, gdyż w trakcie uderzenia zapalnika w element pancerza dochodzi automatycznie do generowania impulsu elektrycznego. W przypadku, gdy zapalnik przejdzie pomiędzy elementami pancerza, w wyniku dużego przyspieszenia opóźniającego w trakcie uderzenia głowicy w pręty również może dojść do wytworzenia impulsu elektrycznego.

W poniższej pracy przedstawione zostaną etapy budowy modelu numerycznego zapalnika WP-7, który będzie służył do ustalania czy w przypadku uderzenia pocisku w pręty pancerza dojdzie do wygenerowania napięcia przez element piezoelektryczny o wartości przekraczającej potrzebną do pobudzenia materiału wybuchowego.

## 2. BUDOWA CZĘŚCI GŁOWICOWEJ ZAPALNIKA

Głowicowa część zapalnika znajduje się w przedniej części pocisku i jest najbardziej wysuniętym w stronę celu elementem. Składa się z przepony, nakrętki, styku górnego i dolnego, kadłuba, izolatora oraz styku (rys. 1.). Jednym z najważniejszych elementów zapalnika jest piezoelement wykonany z tytanianu baru, znajdujący się pomiędzy stykiem górnym i dolnym. Jest on odpowiedzialny za wytworzenie ładunku elektrycznego. Aby odizolować układ i uchronić go przed zwarcie obwodu zewnętrznego i wewnętrznego pocisku, oba styki i piezoelement znajdują się we wnętrzu izolatora wykonanego z tworzywa sztucznego.



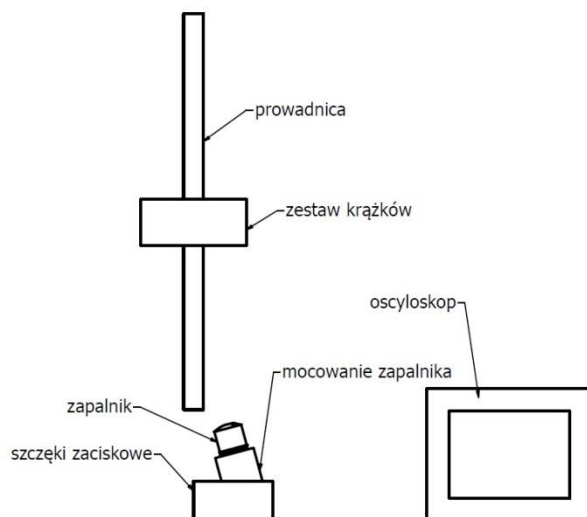
Rys. 1. Przekrój głowicowej części zapalnika WP-7: 1 – przepona, 2 – nakrętka, 3 – styk górny, 4 – piezoelement, 5 – kadłub, 6 – styk dolny, 7 – izolator, 8 – styk

W celu wykasowania luzów, styki dolny i górny, są wstępnie dociskane do piezoelementu poprzez nakrętkę. Całość jest otoczona przeponą, która ma za zadanie zapewnienie hermetyczności i zabezpieczenia przed zadziałaniem zapalnika pod wpływem naporu wiatru w trakcie lotu pocisku. Odpowiednie ukształtowanie styku górnego oraz otworu w nakrętce ma gwarantować utrzymanie współosiowości tych elementów oraz możliwość zadziałania zapalnika podczas uderzenia bocznego.

Podczas uderzenia w cel przepona zostaje silnie odkształcona, a nacierająca przeszkoda powoduje ściśnięcie piezoelementu pomiędzy stykami, co skutkuje wygenerowaniem ładunku elektrycznego. Generowanie ładunku opiera się na zjawisku polegającym na pojawianiu się ładunków elektrycznych na ściankach szeregu dielektryków przy ich ściskaniu. Aby nastąpiło odpowiednie pobudzenie materiału wybuchowego (tak by był on zdolny do utworzenia strumienia kumulacyjnego), zgromadzony ładunek w piezoelemencie powinien zapewnić napięcie rzędu 3 kV. Przyjmuje się, że poniżej 2 kV nie nastąpi utworzenie się strumienia kumulacyjnego. Wartości pomiędzy 3 kV i 2 kV traktuje się jako stany przejściowe, w których prawdopodobieństwo odpowiedniego pobudzenia materiału wybuchowego jest stosunkowo niewielkie.

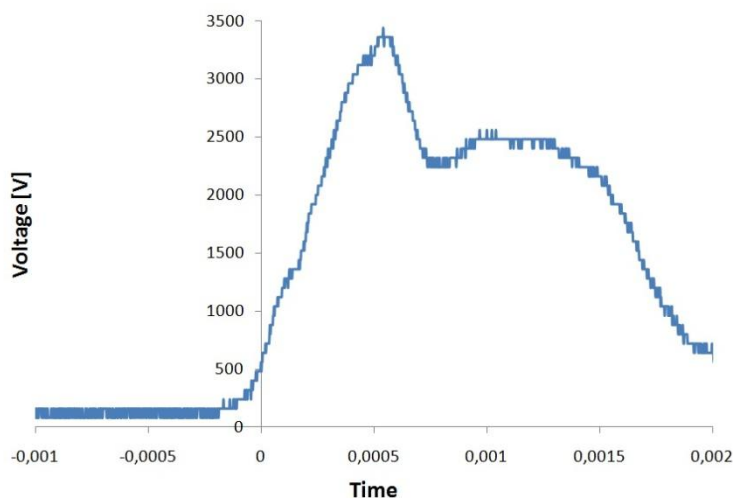
### 3. BADANIA DOŚWIADCZALNE

Generowanie ładunku elektrycznego przez piezoelement powodowane jest ściskaniem na kierunku zgodnym z jego osią symetrii. Wielkość ładunku jest proporcjonalna do siły ściskającej. W przypadku uderzenia zapalnika w przeszkodę ściskanie to przebiega w sposób dynamiczny, w którym obciążenie występuje w postaci energii kinetycznej układu. Aby określić warunki jakie muszą zajść w modelu numerycznym, aby doszło od generowania impulsu elektrycznego o określonej wielkości, konieczne było przeprowadzenie szeregu badań doświadczalnych. Zbudowane do tego stanowisko badawcze składa się z prowadnicy, po której porusza się zestaw krążków o określonej masie, szczęk zaciskowych w których przytrzymywane jest mocowanie zapalnika, zapalnika oraz oscyloskopu. W trakcie badań zapalnik z mocowaniem był ustawiany pod określonym kątem względem osi prowadnicy, a następnie z odpowiedniej wysokości upuszczany był zestaw krążków. W ten sposób w zapalnik uderzała płaska powierzchnia krążków z określoną energią kinetyczną. Za pomocą oscyloskopu mierzone było napięcie w zapalniku.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego

Z szeregu przeprowadzonych badań przyjęto do kalibracji modelu numerycznego uderzenie krążków o masie 2 kg pod kątem prostym, upuszczonych z wysokości 463 mm. W trakcie tego uderzenia na oscyloskopie zarejestrowano przebieg napięcia na zapalniku przedstawiony na rysunku 3. Widzimy na nim, że maksymalna wartość napięcia wynosiła ok. 3390 V, a więc piezoelektryk wygenerował napięcie zdolne do pobudzenia materiału wybuchowego i wygenerowania strumienia kumulacyjnego.

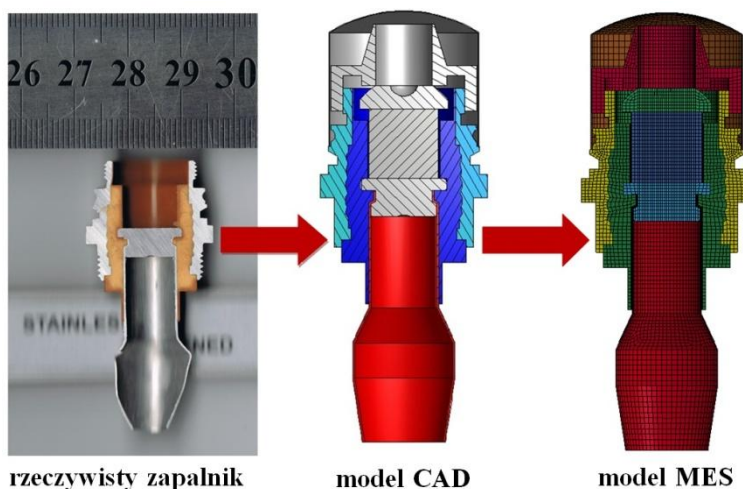


Rys. 3. Przebieg napięcia na zapalniku dla uderzenia masą 2 kg z wysokości 463 mm

#### 4. BUDOWA MODELU MES

W celu przeprowadzenia analiz numerycznych z wykorzystaniem zapalnika WP-7 opracowano jego model MES. Do budowy modelu wykorzystano model 3D CAD utworzony na bazie zdjęcia przekroju zapalnika. Obraz ze zdjęcia po porównaniu z charakterystycznymi wymiarami zapalnika oraz fragmentem suwmiarki widocznej na rysunku 4 został odpowiednio przeskalowany, a następnie obrysowany na szkicu.

W końcowym etapie opracowany model CAD został wyeksportowany do programu Hypermesh, w którym dokonano dyskretyzacji geometrii zapalnika.



Rys. 4. Etapy tworzenia modelu numerycznego zapalnika WP-7

Zbudowany model numeryczny wiernie odzwierciedla geometrię rzeczywistego zapalnika oraz podział na poszczególne części poprzez wprowadzenie kontaktu typu `automatic_surface_to_surface` pomiędzy odpowiednie części modelu. Dodatkowo w miejscu występowania połączeń gwintowych wprowadzono kontakt `surface_to_surface_tie_break`. Kontakt ten pozwala na wprowadzenie warunku brzegowego w postaci wyłączenia działania kontaktu w przypadku odchylenia dwóch powierzchni od siebie o określoną wartość przemieszczenia (w tym przypadku była to wysokość gwintu).

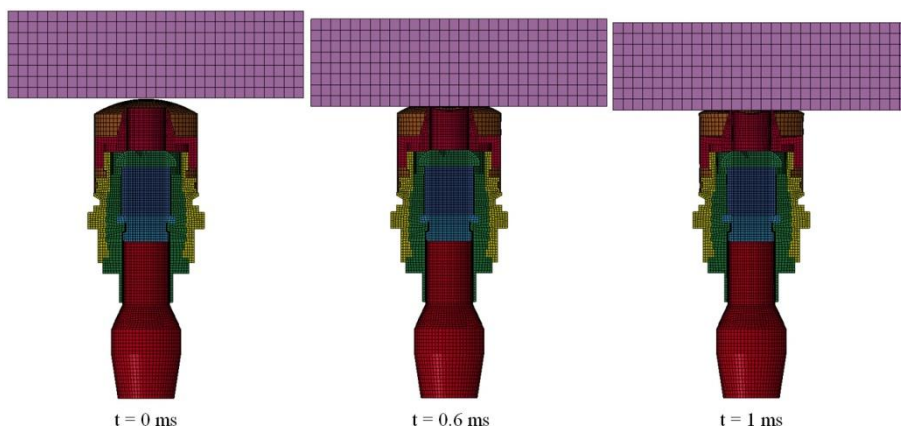
Każdej z części zapalnika przypisano własności materiałowe odpowiadające rzeczywistemu materiałowi z uwzględnieniem części sprężystej oraz plastycznej wykresu zależności naprężeń od odkształceń. We wszystkich przypadkach użyto wieloliniowego modelu materiału z liniowym wzmocnieniem po przekroczeniu granicy plastyczności. Ostateczny model numeryczny składa się z 80038 elementów skończonych (5658 elementów typu SHELL oraz 74380 elementów typu SOLID).

## 5. BADANIA WALIDACYJNE

W celu kalibracji modelu zapalnika wykonano symulację numeryczną odzwierciedlającą przeprowadzone badanie eksperymentalne. Do modelu zapalnika wprowadzono krążek, któremu nadano własności materiałowe stali. Gęstość materiału krążka została tak dobrana, by przy zamodelowanej objętości, jego masa wynosiła 2 kg. Zapalnik został utwierdzony w miejscu występowania gwintu, który był wkręcany w mocowanie zapalnika podczas badania doświadczalnego. Krążkowi nadano prędkość początkową odpowiadającą jego prędkości w chwili zetknięcia z zapalnikiem (3.014 m/s). Pomiędzy krążkiem i wszystkimi częściami zapalnika wprowadzono kontakt typu `Surface_to_surface`.

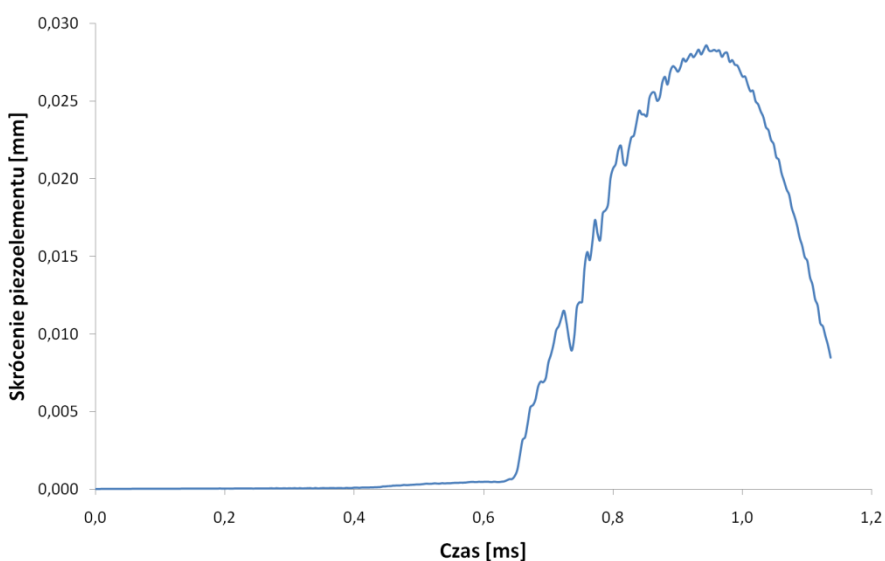
Na rysunku 5 przedstawiono etapy zgniatania zapalnika. W chwili  $t = 0$  ms krążek nie styka się z elementami zapalnika. Od tego momentu do  $t = 0,6$  ms dochodzi do

niszczenia przepony. W kolejnym etapie zgniatany jest element piezoelektryczny. W chwili  $t = 1$  ms krążek odbija się od zapalnika i zmienia zwrot ruchu.



Rys. 5. Etapy zgniatania elementu piezoelektrycznego

Na rysunku 6 przedstawiono wykres skrócenia elementu piezoelektrycznego na kierunku osiowym. Widzimy na nim, że do czasu ok. 0,62 ms nie dochodzi do istotnej zmiany wysokości tego elementu. Po przekroczeniu tego czasu następuje znaczny wzrost skrócenia elementu piezoelektrycznego, które dochodzi do 0,29 mm. Po czasie 1,0 ms element piezoelektryczny wraca do swoich pierwotnych wymiarów.



Rys. 6. Skrócenie elementu piezoelektrycznego na kierunku osiowym

Na podstawie przeprowadzonych analiz oraz badań eksperymentalnych przyjęto, że skrócenie elementu piezoelektrycznego o 0,29 mm w czasie ok. 0,4 ms powoduje powstanie piku napięcia elektrycznego o wartości ok. 3400 V. W dalszych analizach parametry te będą wyznaczać odniesienie, względem którego będzie określane czy powstające skrócenia elementu piezoelektrycznego będą powodowały powstanie napięcia powyżej 3 kV.

## 6. WNIOSKI

W prezentowanej pracy przedstawiono etapy budowania modelu numerycznego oraz badania kalibrujące zapalnika typu WP-7. W dalszej części pracy przeprowadzone zostaną analizy z wykorzystaniem całego pocisku ukierunkowane na sprawdzenie możliwości zadziałania zapalnika w przypadku uderzenia w różne typy pancerza.

## LITERATURA

- [1] A.Wiśniewski: *Pancerze budowa, projektowanie i badanie*. WNT, Warszawa 2001.
- [2] Military Parade, Russia, Moscow 2001.
- [3] T.Niezgoda, R. Panowicz, W.Barnat i inni: *System obrony aktywnej do ochrony pojazdów przed pociskami z głowicami kumulacyjnymi*. XXIII Międzynarodowa Konferencja N-T Ochrona ludności przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń, Ekomilitaris, 8-11 września 2009, Zakopane 2009.
- [4] K.Jach i inni: *Modelowanie własności dynamicznych ciał metodą punktów swobodnych*, PWN, Warszawa 2001.
- [5] J.O.Hallaquist: LS-Dyna. Theoretical manual, Livermore Software Technology Corporation, California, 2005.
- [6] [www.ruag.com](http://www.ruag.com)