

WYBRANE ZAGADNIENIA Z BADAŃ MODELU 98 MM MOŹDZIERZOWEGO POCISKU OŚWIETLAJĄCEGO

Streszczenie: Wdrożenie w Polsce nowego wzoru moździerza kalibru 98 mm zrodziło potrzebę opracowania pełnego asortymentu amunicji, w tym naboju z pociskiem oświetlającym. Wykonano i przebadano na poligonie modele pocisków. W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia z badań konstrukcji modelu 98 mm pocisku oświetlającego na podstawie analizy wyteżenia elementów z zastosowaniem metody elementów skończonych przy użyciu programu INVENTOR PRO 2008 firmy Autodesk®. Przeprowadzono analityczne i numeryczne obliczenia wytrzymałościowe wybranych detali. Próby poligonowe strzelaniem oraz próby statycznego rozczalenia pocisku oświetlającego wykazały dalsze kierunki modernizacji konstrukcji. Jednocześnie widać dużą użyteczność zastosowania analizy wyteżenia elementów na etapie konstrukcji modelu pocisku ponieważ pozwala ona na wizualizację rozkładu naprężeń i przemieszczeń. Na tej podstawie można już wstępnie przeprowadzić optymalizację konstrukcji danego detalu. Oczywiście ostateczną weryfikacją prawidłowości przyjętego rozwiązania są badania poligonowe.

1. Wstęp

Na podstawie analizy współczesnych konfliktów zbrojnych wynika, że podstawowym środkiem bliskiego wsparcia artyleryjskiego pozostaje moździerz. Na najniższych szczeblach taktycznych (batalion i kompania) wymagane jest ściśle współdziałanie wsparcia ogniowego artylerii z działaniem pododdziałów. Wsparcie ogniowe zapewnia między innymi specyficzny rodzaj sprzętu artyleryjskiego – moździerz. Predysponują go do tego takie cechy jak:

- prosta obsługa i mała masa,
- niski koszt produkcji,
- niski koszt eksploatacji,
- duża manewrowość i możliwość wykonywania różnorodnych zadań dająca sposobność dowódcy batalionu (kompanii) natychmiastowej reakcji ogniowej.

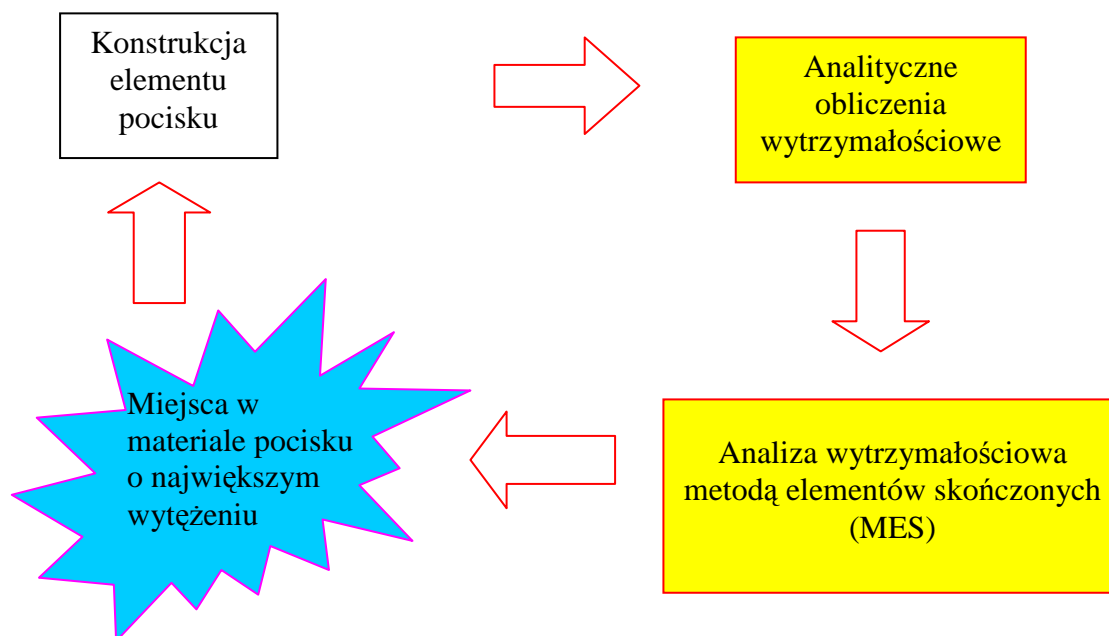
W latach 90-tych wprowadzono w Polsce na uzbrojenie nowy wzór moździerza o kalibrze 98 mm. Wybór podyktowany był potrzebą posiadania moździerza skuteczniejszego niż moździerz kalibru 82 mm oraz spełniającego wymagania traktatu o konwencjonalnych siłach zbrojnych w Europie (Treaty on Conventional Armed Forces CFE) podpisanego przez Polskę dotyczącego między innymi ograniczenia posiadania moździerzy kalibru ponad 100 mm. W związku z powyższym konieczne stało się opracowania całej gamy pocisków dla tego kalibru moździerza. Asortyment ten, prócz podstawowego naboju odłamkowo-burzącego, obejmuje amunicję specjalną:

- nabój z pociskiem kasetowym,
- nabój z pociskiem dymnym,
- nabój oświetlający,
- nabój zapalający,
- nabój przeciwpancerny naprowadzany na cel na końcowym odcinku toru lotu.

Głównym zadaniem amunicji oświetlającej jest oświetlenie własnego przedpoła w celu uniemożliwienia nieprzyjacielowi dokonania skrytego manewru pod osłoną ciemności.

2. Algorytm obliczeń

Analizę konstrukcji elementów pocisku oświetlającego przeprowadzono w oparciu o algorytm, którego diagram blokowy przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Blokowy diagram analizy konstrukcji.
Źródło: opr. wł.

Zgodnie z powyższym diagramem przeprowadzono analizę wytrzymałościową następujących elementów pocisku:

- czepiec balistyczny,
- tłok,
- osłona ładunku.

Po przeprowadzeniu analizy określono miejsca o największym wyężeniu występujące w pociskach oświetlających.

2.1. Czepiec balistyczny

2.1.1 Obliczenia ciśnienia

Określono ciśnienie panujące wewnątrz czepca balistycznego, z wzoru Nobla-Abla:

$$p = \frac{f \cdot \Delta}{1 - \alpha \cdot \Delta} \quad (1)$$

$$\text{gdzie: } \Delta = \frac{\omega}{W} \quad (2)$$

przy czym:

- f - siła prochu czarnego,
- Δ - gęstość ładowania,
- α - kowolumen,
- ω - masa prochu czarnego,

- W - objętość swobodna czepca.

Dane wejściowe:

- $f = 0,3$ MJ/kg,

- $\omega = 0,02$ kg,

- $\alpha = 0,5 \cdot 10^{-3}$ m³/kg,

- $W = 2,02 \cdot 10^{-4}$ m³.

Wynik obliczenia: $p = 30,7$ MPa

Wytrzymałość na rozerwanie czepca balistycznego wykonanego zgodnie z [1] określono ze wzoru (dla rury z dnami – [2]):

$$p_{roz} = \frac{k_r \cdot (b^2 - a^2)}{b^2 \sqrt{3}} \quad (3)$$

przy czym:

- k_r - dopuszczalne naprężenie w materiale,

- b - promień zewnętrzny czepca,

- a - promień wewnętrzny czepca,

Dane wejściowe:

- $k_r = 500$ MPa,

- $b = 4,835 \cdot 10^{-2}$ m,

- $a = 4,525 \cdot 10^{-2}$ m

Wynik obliczenia: $p_{roz} = 35,8$ MPa > $p = 30,7$ MPa.

2.1.2 Analiza wytrzymałościowa MES

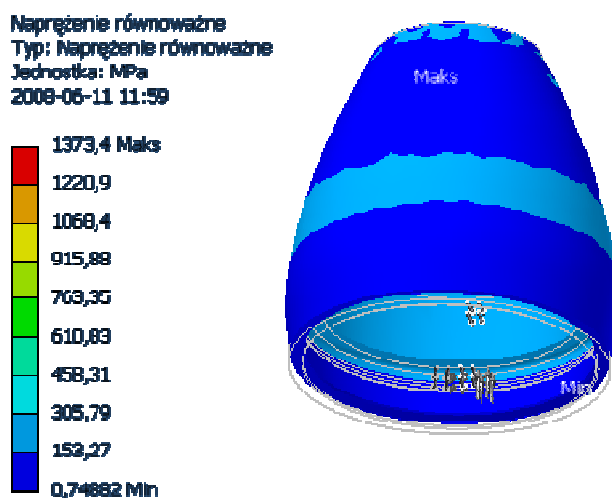
Założenia wstępne:

- wewnątrz czepca balistycznego panuje ciśnienie statyczne 30,7 MPa,

- zadanie wytrzymałościowe rozpatrywane jest przy założeniu liniowych charakterystyk materiałowych i izotropowości materiału,

- przyjęto liniowo-sprężystą charakterystykę własności wytrzymałościowych materiału.

Wytyżenie elementu przedstawiono na rys. 2. Strzałki we wnętrzu czepca balistycznego symbolizują sposób działania przyjętego ciśnienia od gazów prochowych o wartości 30,7 MPa.



Rys. 2. Wytyżenie czepca balistycznego wg hipotezy H-M-H

Źródło: opr. wł.

Wyteżenie przyjętego materiału czepca balistycznego wg hipotezy H-M-H osiągnęło największą wartość na jego zewnętrznej powierzchni. Naprężenia na powierzchni zewnętrznej osiągają wartość 458 MPa i nie przekraczają naprężeń dopuszczalnych dla materiału z którego wykonany jest czepiec balistyczny ($k_r = 500$ MPa).

2.2. Tłok

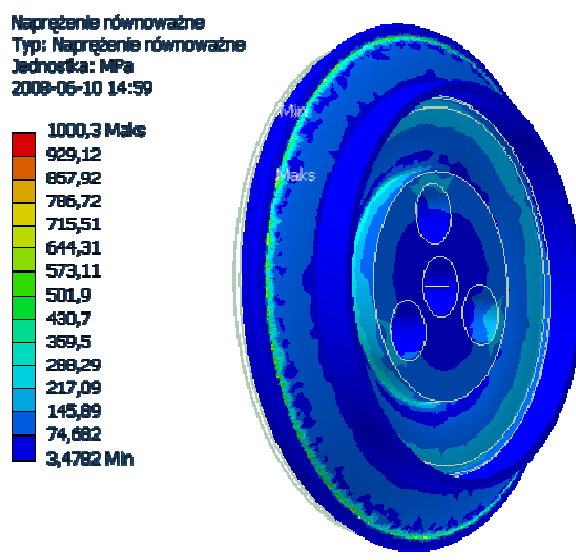
2.2.1 Obliczenia wytrzymałościowe

Ugięcie tłoka wykonanego zgodnie z [1] można określić (po rozwiązaniu równania różniczkowego płyty kołowsymetrycznej) ze wzoru 28.27, str. 427, [2]). Jest to zagadnienie trudne ponieważ stałe występujące w w/w wzorze należy wyznaczyć z warunków brzegowych podanych w tabelicy 28.1 str.428 [2]. Niestety schemat obciążenia tłoka nie jest zgodny ze schematem do wyznaczania warunków brzegowych.

Obliczeń analogowych nie wykonano. Przyjęto w modelu tłok o konstrukcji zbliżonej do stosowanego w 98 mm moździerzowym pocisku kasetowym PKKO-98.

2.2.2 Analiza wytrzymałościowa MES

Do analizy wytrzymałościowej tłoka przyjęto założenia wstępne identyczne jak dla czepca balistycznego, z uwzględnieniem różnic w sposobie działania ciśnienia roboczego oraz utwierdzenia tłoka. Przyjęto ciśnienie statyczne 30,7 MPa działające na tłok.



Rys. 3. Wyteżenie tłoka wg hipotezy H-M-H

Źródło: opr. wł.

Na rys. 3 przedstawiono naprężenia równoważne występujące w tłoku pod działaniem ciśnienia od gazów prochowych o wartości 30,7 MPa. Dla tłoka wykonanego z materiału PA7 naprężenia dopuszczalne wynoszą 420 MPa. Wyteżenie materiału przekroczyło wartość naprężeń dopuszczalnych i osiągnęło wartość 501 MPa. Ponieważ ciśnienie robocze występujące wewnątrz czepca balistycznego ma charakter dynamiczny możemy przyjąć, że wytrzymałość dynamiczna tłoka jest dużo większa od wytrzymałości statycznej. Potwierdziły to badania poligonowe. Tłok funkcjonował prawidłowo, jednak widać na nim trwałe odkształcenia plastyczne na obwodzie na styku z osłoną ładunku oraz we wnętrzu tłoka (w obszarach jasnych widocznych na rys.3).

2.3. Osłona ładunku

2.3.1. Obliczenia wytrzymałościowe osłony ładunku

Wytrzymałość osłony ładunku określono z wzoru na naciski dopuszczalne (4)

$$P_{dop} = \frac{F}{S} \quad (4)$$

$$\text{gdzie } F = \frac{\Pi \cdot D_1^2 \cdot p}{4} \quad (5)$$

$$\text{oraz } S = \frac{\Pi \cdot (D_o^2 - d_o^2)}{4} \quad (6)$$

przy czym:

- F – siła działająca na osłonę ładunku w momencie rozcalenia pocisku oświetlającego,
- S – pole powierzchni osłony ładunku stykającej się z tłokiem,
- $D_1 = 8,19 \cdot 10^{-2}$ m – średnica tłoka,
- $p = 30,7$ MPa – ciśnienie panujące w czepcu balistycznym,
- $D_o = 8,17 \cdot 10^{-2}$ m – średnica zewnętrzna osłony ładunku,
- $d_o = 7,68 \cdot 10^{-2}$ m – średnica wewnętrzna osłony ładunku.

Dane wejściowe:

- $D_1 = 8,19 \cdot 10^{-2}$ m – średnica tłoka,
- $p = 30,7$ MPa – ciśnienie panujące w czepcu balistycznym,
- $D_o = 8,17 \cdot 10^{-2}$ m – średnica zewnętrzna osłony ładunku,
- $d_o = 7,68 \cdot 10^{-2}$ m – średnica wewnętrzna osłony ładunku.

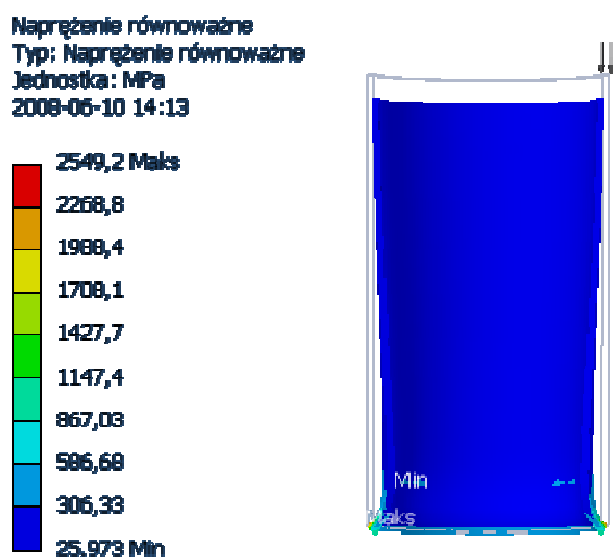
Wynik obliczenia: $P_{dop} = 265$ MPa.

Osłona ładunku wykonana jest z materiału 30HGS i posiada $R_{emin} = 450$ MPa $>$ $P_{dop} = 265$ MPa.

2.3.2. Analiza wytrzymałościowa MES osłony ładunku.

Założenia wstępne:

- w momencie rozcalenia pocisku oświetlającego na osłonę ładunku działa obliczona ze wzoru (5) siła $F = 161486$ N,
- pozostałe założenia wstępne identyczne jak dla czepca balistycznego.



Rys. 3. Wytyżenie osłony ładunku wg hipotezy H-M-H. Źródło: opr. wł.

Analiza MES wyteżenia osłony ładunku potwierdziła, że naprężenia nie przekraczają wartości dopuszczalnej $R_{emin} = 450$ MPa dla materiału 30 HGS. Niepokojące są jedynie widoczne na pierwszy rzut oka naprężenia i odkształcenia w dolnej części rys. 3. Jest to w rzeczywistym pocisku miejsce styku osłony ładunku z osłoną spadochronu. Badania poligonowe potwierdziły brak jakichkolwiek odkształceń osłony ładunku. Niestety w programie INVENTOR 2008 autor nie jest w stanie zasymulować prawdziwego otoczenia w jakim znajduje się tuleja osłono.

3. Analiza wyników

Po przeanalizowaniu wyników otrzymanych metodą analitycznych obliczeń wytrzymałościowych oraz po zweryfikowaniu ich przy pomocy analizy wytrzymałościowej MES stwierdzono, że konstrukcja została wykonana prawidłowo oraz, że pociski oświetlające można poddać badaniom poligonowym.

Wynik badań poligonowych nie był zgodny z oczekiwaniami. Elementy których analizę przedstawiono powyżej działały prawidłowo jednak ładunek oświetlający nie działał poprawnie. Nie spalała się tuleja ładunku oświetlającego.



Rys. 4. Ładunek oświetlający po rozcaleniu statycznym na poligonie
Źródło: opr. wł.

Na rys. 4 widać wyraźnie nie spaloną tuleję, wewnątrz której znajdował się ładunek oświetlający.

4. Proponowane zmiany konstrukcyjne

Po przeprowadzeniu badań poligonowych stwierdzono, że:

- należy zmienić materiał tulei osłaniającej kostkę oświetlającą lub zmniejszyć jej grubość tak aby mogła się ona spalać wraz z kostką,
- zmienić materiał tłoka z PA7 na C30, aby uniknąć odkształceń plastycznych tłoka i przesunąć środek ciężkości pocisku oświetlającego w kierunku zapalnika. Zmiany te spowodują wzrost masy pocisku oświetlającego, która z założenia powinna być zbliżona do masy pocisku PKKO-98.

Wyżej proponowane zmiany zostały wprowadzone do DK [3].

5. Podsumowanie

Zastosowana analiza wyężenia elementów przy użyciu programu INVENTOR 2008 jest bardzo użyteczna na etapie konstrukcji modelu pocisku przy czym należy ustalić odpowiedni sposób przyłożenia poszczególnych obciążeń. W przypadku błędnej symulacji następuje niewłaściwe zobrazowanie odkształceń. Czasem jednak, w przypadku złożonego obciążenia trudne jest właściwe zasymulowanie obciążeń. Można wówczas próbować zbudować odpowiedni element, przy pomocy którego możliwe będzie zobrazowanie wyężenia. Dużym ograniczeniem programu INVENTOR 2008 jest brak możliwości obciążenia detalu o zarysie krzywoliniowym. Wówczas zarys krzywoliniowy można interpolować odcinkami przy czym im więcej odcinków, tym dokładniejsze jest odwzorowanie zarysu. Niestety, program INVENTOR 2008 nie umożliwia zobrazowania współpracy dwóch detali ze sobą.

Metoda zobrazowania wyężenia elementów składowych pocisku przy pomocy odpowiednich detali wytworzonych w programie INVENTOR 2008 jest bardzo przydatna. Wyniki badań potwierdziły użyteczność tej metody podczas konstruowania modelu pocisku oświetlającego.

Literatura

- [1] Dokumentacja konstrukcyjna.: *98 mm moździerzowy pocisk oświetlający*, nr rys. B50.0.0.0.0a Nr arch. WITU 5856/C/1.
- [2] Rżysko J: *Statyka i wytrzymałość materiałów*, PWN 1971.
- [3] Dokumentacja konstrukcyjna: *98 mm moździerzowy pocisk oświetlający*, nr rys. B50.0.0.0.0b Nr arch. WITU 6330/C.
- [4] Zarzycki B.: *Moździerzowe pociski oświetlające*, WITU, Problemy techniki uzbrojenia, Zeszyt 96 nr 3/2005, s 99-106.

SELECTED PROBLEMS APPEARING FROM INVESTIGATION ON STRUCTURAL MODEL OF 98 MM MORTAR ILLUMINATING SHELL

Implementation in Poland of new type of 98 mm mortar caused the need to work out complete assortment of ammunition for this mortar, including mortar illuminating shells. Many models of such type mortar shells were made and tested. In this paper it was presented selected problems appearing from construction investigations dealing with model of 98 mm mortar illuminating shell on the basis of analysis on effort of structural components of this type shell with usage of finite elements method realized by means of AUTODESK ® Corporation computer software INVENTOR PRO 2008. For selected construction of this type mortar shell components there were conducted analytical and numerical stress calculations. Firing tests in proving ground including static firing tests on programmed bursting of mortar shell body indicated further directions for modernization of these shells. Simultaneously it is visible high usefulness of analysis on effort of structural components of above type mortar shell in the stage of its construction designing because such analysis allows for visualization of strain and stress distribution in material of investigated shell components. On above mentioned basis, it is initially possible to realize construction optimization of given shell component, but of course dynamic firing tests in proving ground will bring final verification of assumed construction solution of 98 mm mortar illuminating shell.

