

## MODERNIZACJA KONSTRUKCJI MODELU PRZECINAKA NA PODSTAWIE ANALIZY WYŁĘŻENIA KOMPONENTÓW

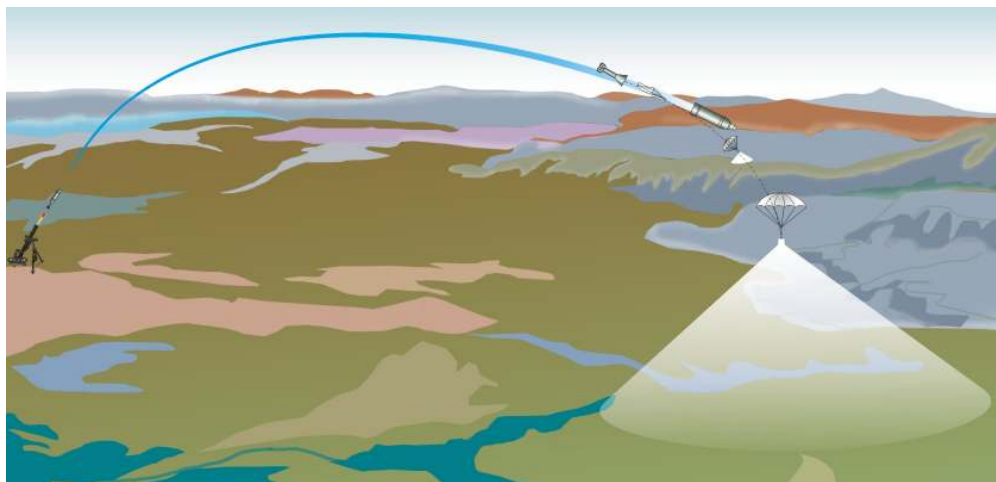
*W artykule przedstawiono koncepcję modernizacji konstrukcji modelu przecinaka na podstawie analizy wyłężenia komponentów z zastosowaniem metody elementów skończonych przy pomocy programu INVENTOR 11. Przeprowadzone analityczne i numeryczne obliczenia wytrzymałościowe wykazały potrzebę optymalizacji konstrukcji przecinaka.*

### 1. Wstęp

W latach 90-tych opracowano w Polsce nowy wzór moździerza o kalibrze 98 mm (M-98). Wybór takiego kalibru wynikał z potrzeby posiadania moździerza skuteczniejszego niż 82 mm i nie podlegającego traktatowym ograniczeniom ilości uzbrojenia artyleryjskiego o kalibrze powyżej 100 mm (układ CFE-1) jak moździerz 120 mm. Zaszła więc również potrzeba opracowania całej gamy nowych wzorów amunicji, w tym 98 mm pocisku oświetlającego.

Podczas konstruowania pocisku oświetlającego pojawił się problem wyhamowania na torze lotu kostki oświetlającej do prędkości umożliwiającej bezpieczne rozwinięcie głównego spadochronu hamującego. Zaproponowano wstępnie rozwiązanie tego problemu za pomocą spadochronu hamującego otwieranego dwuetapowo.

Sposób działania 98 mm pocisku oświetlającego z dwuetapowym otwieraniem spadochronu przedstawiony jest na rys. 1.

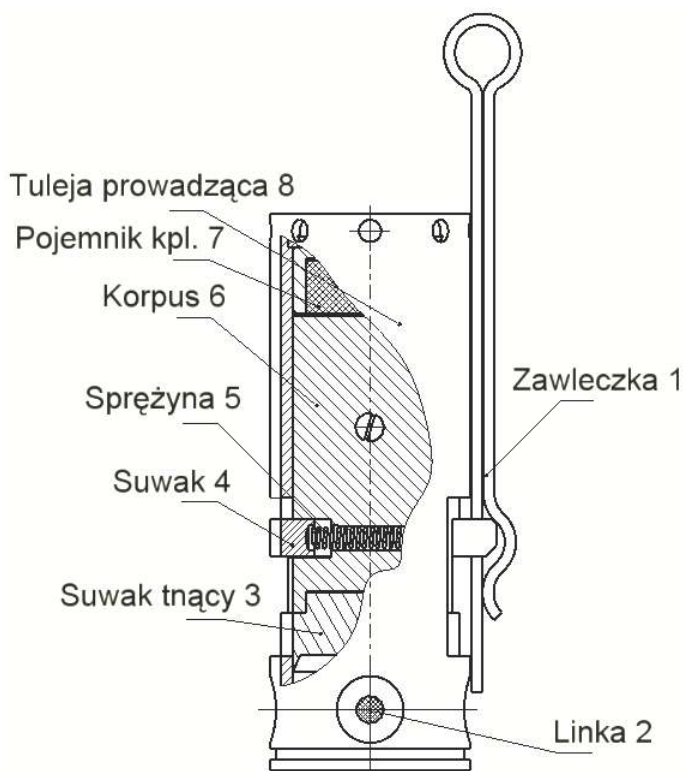


**Rys. 1. Zasada działania 98 mm pocisku oświetlającym.**  
**Źródło: [2]**

Elektroniczny zapalnik czasowy po zaprogramowanym czasie od momentu wystrzału inicjuje ładunek rozcalająco-zapalający. Powoduje on wyrzucenie kostki oświetlającej wraz ze spadochronem z korpusu poprzez zerwanie połączenia dno-korpus, jednocześnie zapalając ją. Spadochron, związany w połowie promienia czasu linką, otwiera się tylko częściowo,

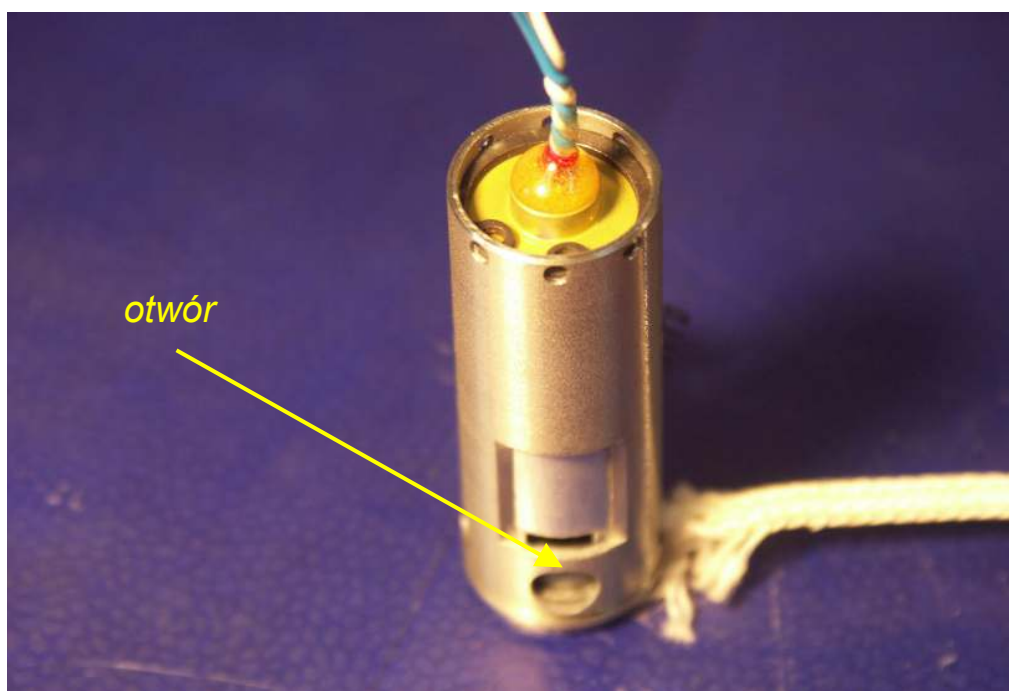
rozpoczynając hamowanie zespołu kostka-spadochron. Jednocześnie uruchamia się układ czasowy przecinaka. Po określonym czasie, gdy prędkość kostki wystarczająco się zmniejszy, przecinak przecina linkę umożliwiając pełne otwarcie spadochronu.

Przekrój modelu przecinaka pokazano na rys.2. Zasada działania przecinaka jest następująca: po zadziałaniu czasowego zapalnika pocisku następuje wyrzucenie z zasobnika ładunku oświetlającego ze spadochronem. Jedną z linek spadochronu połączoną jest z zawleczką 1. Zawleczka 1 wysuwa się z przecinaka i uwalnia suwak 4, który przemieszcza się pod działaniem sprężyny 5. Przemierzający się suwak 4 uruchamia układ czasowy przecinaka. Po określonym czasie następuje zapalenie ładunku prochowego znajdującego się w pojemniku kpl. 7. Powstałe gazy prochowe działają na korpus 6 i na suwak tnący 3, który z kolei przecina linkę 2, co umożliwia pełne otwarcie czaszy spadochronu.



**Rys. 2. Przekrój modelu przecinaka.**  
**Źródło: opr. wł.**

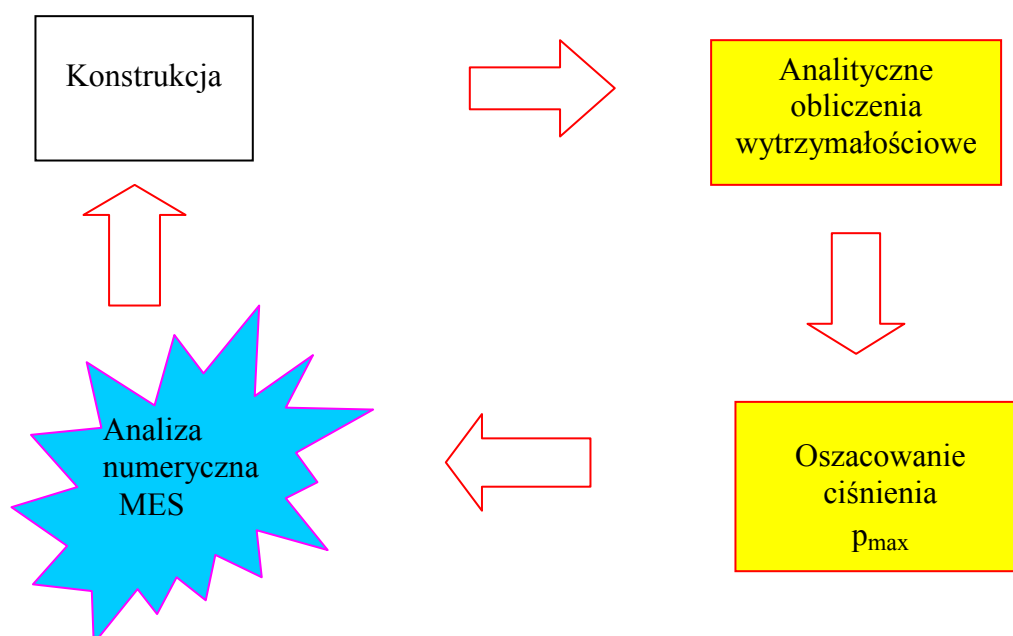
Wykonano dokumentację konstrukcyjną na przecinak [4], a następnie wykonano trzy modele przecinaków. Wygląd zewnętrzny modelu przecinaka przedstawiono na rys. 3. Modele zostały przebadane statycznie. Pomimo iż działały poprawnie zauważono błędy konstrukcyjno-eksploatacyjne, które pociągają za sobą konieczność modernizacji konstrukcji przecinaka. Po badaniach statycznych autor dysponował programem INVENTOR 11 PL, który umożliwia przeprowadzenie obliczeń wytrzymałościowych metodą elementów skończonych (MES). Podczas wprowadzania niezbędnych zmian postanowiono przeprowadzić modernizację konstrukcji przecinaka.



Rys. 3. Model przecinaka stosowanego w 98 mm pocisku oświetlającym.  
Źródło: opr. wł.

## 2. Algorytm modernizacji konstrukcji

Modernizację konstrukcji przecinaka przeprowadzono w oparciu o algorytm, którego diagram blokowy przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Blokowy diagram modernizacji konstrukcji.  
Źródło: opr. wł.

Założenie wstępne: przecinak wykonany zgodnie z DK [4] działał prawidłowo.

Cel: Określenie maksymalnego ciśnienia roboczego występującego w przecinaku.

Obliczenia rozpoczęto od obliczenia ciśnienia panującego w przecinaku z wzoru Nobla-Abla

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

Dane wejściowe:

- siła prochu czarnego  $f=0,3$  MJ/kg
- ilość prochu czarnego  $\omega=0,0006$  kg
- kowolumen  $\alpha$  dla prochu czarnego  $\alpha=0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$
- objętość swobodna  $W_0=1,0725 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

Wynik obliczeń:

$$p=233 \text{ MPa}$$

Wytrzymałość tulei prowadzącej 8 na rozerwanie obliczam ze wzoru [5, s.412,(26.26)]

$$p = \frac{k \cdot (b^2 - a^2)}{b^2 \sqrt{3}} \quad (2)$$

Dane wejściowe:

- dopuszczalne naprężenie rury bezszwowej wykonanej z materiału 4H13 PN-71/H-86020  $k=700$  MPa
- zgodnie z [4] wymiar  $b=9 \cdot 10^{-2}$  m
- zgodnie z [4] wymiar  $a=8 \cdot 10^{-2}$  m

Wynik obliczeń:

$$p=84,8 \text{ MPa}$$

Zgodnie z obliczeniami przecinak powinien ulec rozerwaniu. Tak się jednak nie dzieje ponieważ w przecinaku znajdują się otwory przez które następuje wypływ gazów prochowych. Jeden z tych otworów widoczny jest na rys. 3. Autorowi trudno było teoretycznie wyliczyć ciśnienie gazów prochowych z uwzględnieniem ich wypływu wiedząc, że przekrój ulega zmniejszeniu wraz z przesuwaniem się suwaka tnącego 3.

Określono  $p_{\max}$  na podstawie obliczeń wytrzymałościowych wkrętów specjalnych [4] oraz iglicy opóźniacza [4].

Założenie: maksymalne ciśnienie panujące w przecinaku nie powoduje wyrwania iglicy opóźniacza ani zerwania obu wkrętów specjalnych.

Siłę zrywającą dwa wkręty specjalne M3x6-5.8 obliczono ze wzoru:

$$F=2 \cdot s \cdot R_m \quad (3)$$

Dane wejściowe:

- pole przekroju zrywanego jednego wkręta  $s=4,794 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$
- wytrzymałość na zerwanie materiału wkręta  $R_m = 800$  MPa

Wynik obliczeń:

$$F=3800 \text{ N}$$

Obliczam jakie musi panować ciśnienie wewnątrz przecinaka aby wkręty uległy zerwaniu ze wzoru:

$$p=F/S \quad (4)$$

Dane do obliczeń:

- powierzchnia suwaka tnącego 3 na którą działa ciśnienie wewnątrz przecinaka zgodnie z [4] wynosi  $s=1,674 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Wynik obliczeń:

$p=45 \text{ MPa}$

Obliczam jaką siłę zrywającą wytrzyma gwint iglicy opóźniacza ze wzoru [6, s.182, (80)]:

$$Q = \frac{H \cdot \pi \cdot (d^2 - D_o^2) \cdot z \cdot p_{dop}}{4 \cdot h} \quad (5)$$

Dane do obliczeń:

- wysokość zrywanego gwintu  $H=2,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
- średnica zewnętrzna gwintu  $d=6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
- średnica wewnętrzna gwintu  $D_o=5,459 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
- krotność gwintu  $z=1$
- dopuszczalne naprężenia ścinające  $p_{dop}=40 \text{ MPa}$
- skok gwintu  $h=5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Wynik obliczeń:

$Q=1000 \text{ N}$

Obliczam jakie musi być ciśnienie gazów prochowych aby iglica opóźniacza uległa wyrwaniu ze wzoru:

$$p=Q/S \quad (6)$$

Dane do obliczeń:

- powierzchnia iglicy opóźniacza na którą działa ciśnienie wewnątrz przecinaka zgodnie z [4] wynosi  $S=2,82 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$

Wynik obliczeń:

$p=35,8 \text{ MPa}$

Do dalszych obliczeń MES przyjęto, że ciśnienie robocze wewnątrz przecinaka wynosi 40 MPa. Można przyjąć takie założenie ponieważ zgodnie z [1] wytrzymałość dynamiczna materiałów konstrukcyjnych podczas spalania ładunku prochowego jest większa od wytrzymałości statycznej.

### 3. Analiza wytrzymałościowa MES komponentów przecinaka

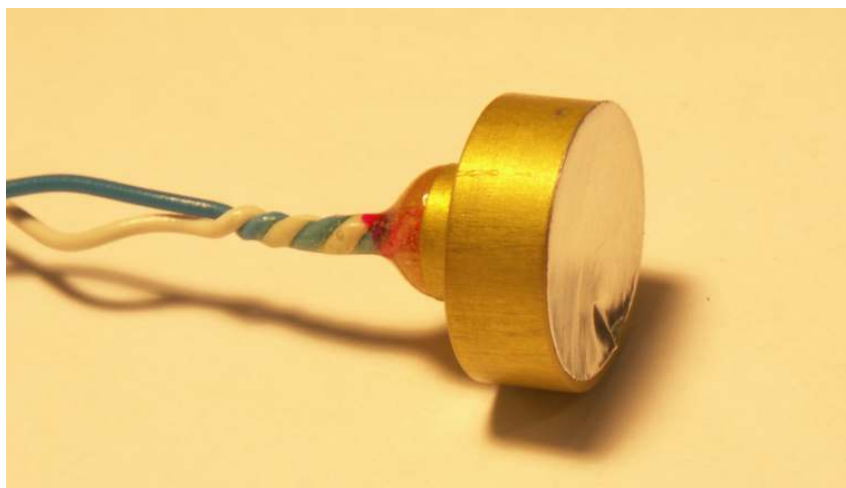
Założenia wstępne:

- wewnątrz przecinaka panuje ciśnienie statyczne 40 MPa,
- nie uwzględnia się wypływu gazów prochowych przez szczeliny w obudowie przecinaka,
- zadanie wytrzymałościowe rozpatrywane jest przy założeniu liniowych charakterystyk materiałowych i izotropowości materiału,
- przyjęto liniowo-sprężystą charakterystykę własności wytrzymałościowych materiału.

Cel: określenie najbardziej wyczerpanych elementów konstrukcji i określenie możliwości zmiany ich kształtu w celu zwiększenia niezawodności działania przecinaka.

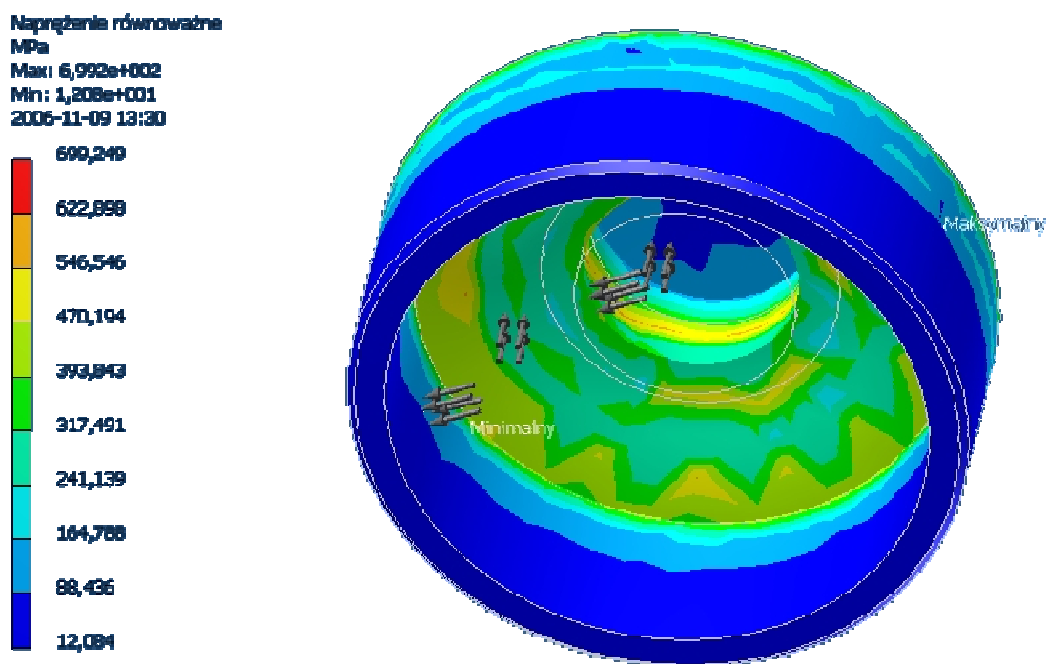
#### 3.1. Analiza wytrzymałościowa pojemnika kpl. 7.

Na rys. 5 przedstawiono wygląd pojemnika kpl 7. użytego do badania.



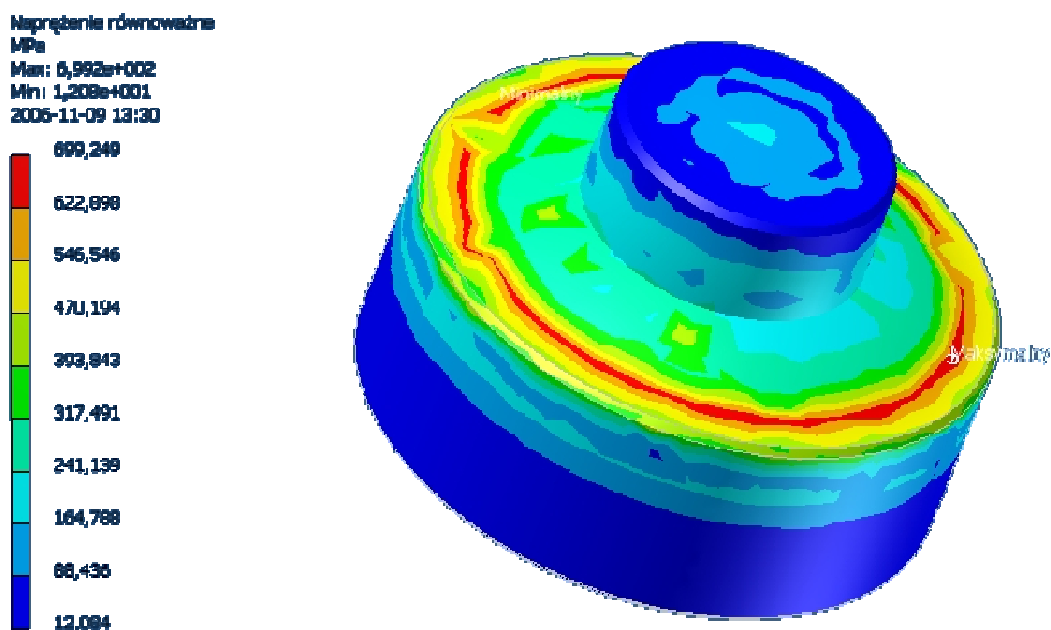
**Rys. 5. Pojemnik kpl. 7**  
**Źródło: opr. wł.**

Rys. 5 przedstawia zdjęcie modelu użytego do stacjonarnych badań wytrzymałościowych. Zdjęcie to zostało zamieszczone po to aby pokazać, że w modelu użytym do badań objętość swobodna prochu czarnego była pomniejszona o objętość elektrycznej spłonki zapalającej. W wersji docelowej nie ma elektrycznej spłonki zapalającej. Na rys. 6 i 7 przedstawiono wyęźnienie pojemnika.



**Rys. 6. Wyęźnienie pojemnika wg hipotezy H-M-H (widok wnętrza pojemnika)**  
**Źródło: opr. wł.**

Strzałki widoczne we wnętrzu pojemnika symbolizują sposób działania przyjętego ciśnienia od gazów prochowych o wartości 40 MPa.



Rys. 7. Wyteżenie pojemnika wg hipotezy H-M-H(widok zewnętrznej powierzchni pojemnika)  
Źródło: opr. wł.

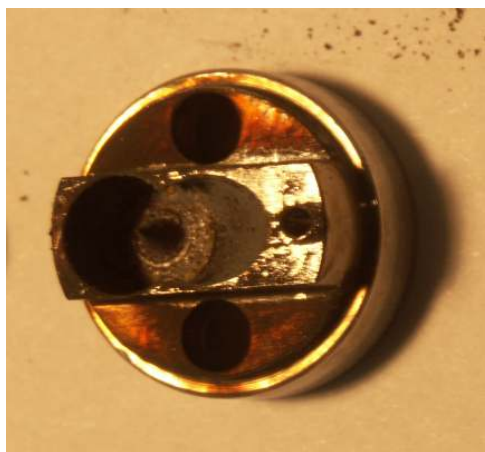
Wyteżenie przyjętego materiału pojemnika wg hipotezy H-M-H osiągnęło największą wartość na jego zewnętrznej płaskiej powierzchni. W rzeczywistym przecinak w tym miejscu znajduje się pierścień osadczy sprężynujący, który chroni częściowo tę powierzchnię przed wybrzuszeniem. Teoretycznie naprężenia na powierzchni zewnętrznej osiągają wartość 699 MPa i przekraczają naprężenia dopuszczalne dla materiału z którego wykonany jest pojemnik ( $R_m = 360$  MPa,  $R_e = 190$  MPa). Pomimo tego po badaniach nie stwierdzono widocznych odkształceń plastycznych zewnętrznej powierzchni.

### 3.2. Analiza wytrzymałości korpusu opóźniacza 6 i tulei prowadzącej 8.

Po przeprowadzeniu analizy MES komponentów obu detali okazało się, że ciśnienie statyczne 40 MPa nie powoduje przekroczenia naprężeń dopuszczalnych. Jest to zgodne z wcześniej uzyskanymi wynikami z których wynika, że w tulei prowadzącej 8 nastąpi przekroczenie naprężeń dopuszczalnych przy ciśnieniu 84,8 MPa. Przeprowadzono także analizę MES innych komponentów wchodzących w skład przecinaka. Nie zauważono żadnych niepokojących koncentracji za wyjątkiem komponentu suwaka tnącego 3.

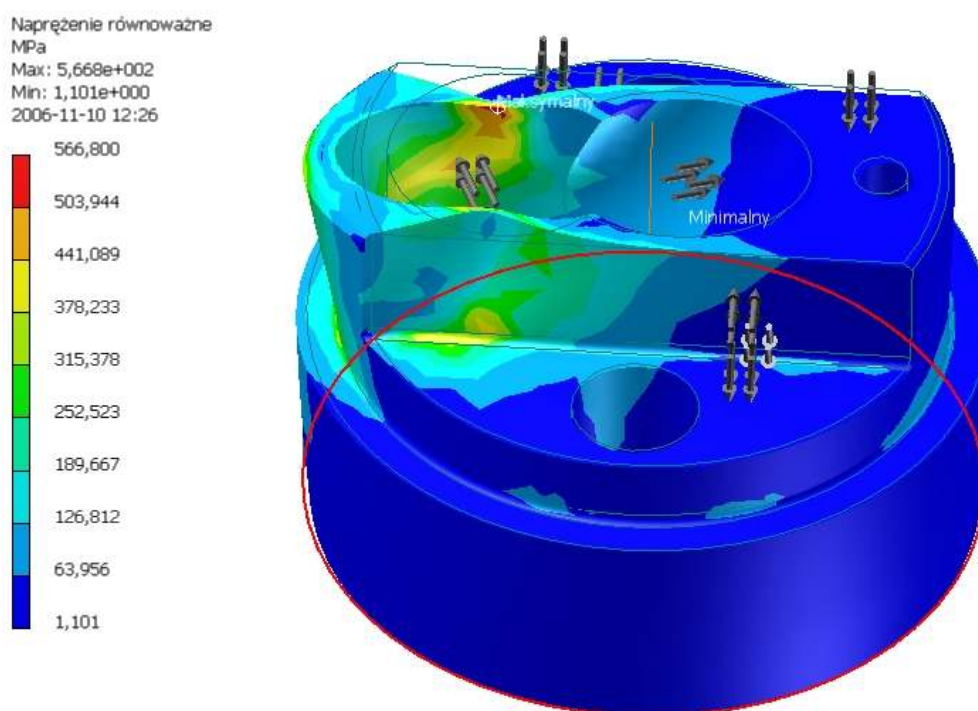
### 3.3. Analiza wytrzymałości suwaka tnącego 3.

Na rys. 8 przedstawiono wygląd modelu suwaka tnącego 3 po badaniu statycznym funkcjonowania.



**Rys. 8. Suwak tnący 3.**  
**Źródło: opr. wł.**

Na rys. 9 przedstawiono analizę MES komponentu suwaka tnącego 3.



**Rys. 9. Wytyżenie suwaka tnącego 3 wg hipotezy H-M-H**  
**Źródło: opr. wł.**

W przypadku analizy wytyżenia suwaka tnącego 3 nie jest istotna wartość maksymalnych naprężeń zredukowanych lecz kierunki i wartości deformacji. Załamanie się otworu iglicy do środka nie jest groźne z konstrukcyjnego punktu widzenia. Nie jest także istotne czy po nakłuciu i zapaleniu samolikwidatora spłonka zapalająca w obsadzie ulegnie zakleszczeniu podczas działania przecinaka. Swoje zadanie już spełniła. Niebezpieczne jest przemieszczenie się otworu na zewnątrz (w lewą stronę rysunku). Takie zniekształcenie kołowości suwaka tnącego 3 może doprowadzić do przekroczenia tolerancji pasowania korpusu 6 z tuleją prowadzącą 8 przecinaka a w konsekwencji do zmniejszenia energii kinetycznej służącej do przecięcia linki spadochronu. Suwak tnący po badaniach statycznych rzeczywiście uległ



zakleszczeniu i trzeba było użyć siły w celu jego demontażu. Zdemontowany suwak tnący 3 po badanie przedstawiony jest na rys. 8.

## 4. Proponowane zmiany konstrukcyjne

### 4.1. Proponowane zmiany konstrukcyjne wynikające z badań statycznych funkcjonowania.

Tak jak napisano we wstępie do niniejszego artykułu po przeprowadzeniu badań statycznych funkcjonowania stały się oczywiste następujące zmiany:

- należy wprowadzić dodatkową osłonę chroniącą czasę spadochronu przed działaniem gazów prochowych
- usztywnić położenie zawleczeni 1 w celu zwiększenia pewności uzbrojenia przecinaka na torze lotu.

### 4.2. Proponowane zmiany konstrukcyjne wynikające z analizy MES.

Dodatkowe zmiany konstrukcyjne, które należy wprowadzić po przeprowadzeniu analizy MES są następujące:

- zoptymalizować konstrukcję pojemnika kpl. 7 tak aby zmniejszyć wyężenie materiału na jego zewnętrznej powierzchni (rozkład naprężeń przekraczających naprężenia dopuszczalne pokazano na rys. 7)
- zmienić konstrukcję suwaka tnącego 3 lub przeanalizować możliwość zmniejszenia ciśnienia roboczego poprzez zwiększenie objętości swobodnej  $W_0$  w celu zmniejszenia niekorzystnego rozkładu naprężeń pokazanych na rys. 9.

## 5. Podsumowanie

Zastosowana analiza wyężenia komponentów przy użyciu programu INVENTOR 11 jest bardzo użyteczna ponieważ pozwala zilustrować rozkład naprężeń występujący w danym komponente. Na tej podstawie można przeprowadzić optymalizację konstrukcji danego komponentu. Idąc krok dalej można pokusić się o przeprowadzenie analizy dwóch współpracujących ze sobą komponentów. Do tego celu należy użyć bardziej zaawansowanego oprogramowania MES (np. moduł Design Space programu ANSYS). Między innymi poprzez symulację zjawisk kontaktowych w złożonej analizie MES wszystkich komponentów 98 mm pocisku moździerzowego oświetlającego, możliwym będzie wydajniejsze zoptymalizowanie jego konstrukcji w kierunku redukcji masy „zbędnej” na rzecz zwiększenia masy użytecznej kostki oświetlającej.

## Literatura

- [1] Włodarczyk E, Janiszewski J.: *Dynamika cienkościennego pierścienia napędzanego wybuchowo*, WITU, Problemy techniki uzbrojenia, Zeszyt 96, s. 49÷60,
- [2] Zarzycki B.: *Moździerzowe pociski oświetlające*, WITU, Problemy techniki uzbrojenia, Zeszyt 96, s.99÷106,
- [3] Dokumentacja konstrukcyjna: *98 mm moździerzowy pocisk oświetlający*, nr rys. B50.0.0.0,
- [4] Dokumentacja konstrukcyjna: *Przecinak nr rys. B50.3.0.0*,
- [5] Rżysko J: *Statyka i wytrzymałość materiałów*, PWN 1971,
- [6] *Poradnik inżyniera mechanika, Tom drugi, Zagadnienia konstrukcyjne*, WNT Warszawa.