

## MODEL SYMULACYJNY DZIAŁKA LOTNICZEGO NR-30.

*W artykule przedstawiono metodę tworzenia i badania modelu symulacyjnego działka lotniczego NR-30, które jest montowane na samolocie Su-22. Wyniki, które można uzyskać z badań modelu symulacyjnego działka stanowią bardzo istotną informację o skutkach zmian wartości parametrów diagnostycznych tego działka wykorzystywaną w ocenie jego trwałości i niezawodności. Prezentowana metoda tworzenia i badania modeli symulacyjnych wykorzystuje nowoczesne systemy obliczeniowe oparte na zaawansowanym oprogramowaniu inżynierskim z grupy CAD/CAE. W prowadzonych badaniach wykorzystano oprogramowanie Solid Edge v.9 z dziedziny komputerowego wspomaganie projektowania (CAD – Computer Aided Design), które jest przeznaczone do modelowania elementów i zespołów mechanicznych. Wykorzystano również oprogramowanie visualNastran 4D Desktop jako program z grupy komputerowego wspomaganie obliczeń inżynierskich (CAE – Computer Aided Engeneering), czyli wykonywania obliczeń wytrzymałościowych, symulacji układów kinematycznych i dynamicznych. Zakres prowadzonych badań został określony na podstawie doświadczenia z eksploatacji działka oraz wiedzy eksperckiej. Analiza wyników, które można uzyskać przy realizacji badań z wykorzystaniem zaproponowanej metody stanowi jeden z ważniejszych etapów w procesie opracowywania zasad eksploatacji działek lotniczych wg stanu technicznego.*

### 1. Wstęp

W artykule przedstawiono metodę tworzenia i badania modelu symulacyjnego działka lotniczego NR-30, które jest montowane na samolocie Su-22. Metoda umożliwia pozyskiwanie danych o zmianach parametrów kinematycznych i dynamicznych SAA przy zadawanych zmianach wartości parametrów diagnostycznych. Pozyskanie tego typu danych umożliwia dokonanie oceny trwałości całkowitej i resztkowej SAA wg wcześniej opracowanych metod [6]. Prezentowana metoda wykorzystuje nowoczesne systemy obliczeniowe oparte na zaawansowanym oprogramowaniu inżynierskim z grupy CAD/CAE.

Podstawowymi elementami realizowanej metody są:

1. budowa wirtualnych modeli elementów działka;
2. budowa złożeniowego modelu układu kinematycznego działka;
3. modelowanie funkcjonowania działka w środowisku wirtualnym (zdefiniowanie zależności kinematycznych dla modeli elementów działka);

4. wyznaczenie wielkości kinematycznych w modelu działka dla cyklu jego pracy (przemieszczeń, prędkości, przyspieszeń liniowych i kątowych);
5. wyznaczenie wielkości dynamicznych w modelu działka dla cyklu jego pracy (sił i momentów sił);
6. badanie wpływu zużycia powierzchniowego elementów działka na parametry kinematyczne i dynamiczne jego mechanizmów poprzez wyznaczenie wybranych wielkości kinematycznych i dynamicznych w modelu działka o wymiarach nominalnych jak i wymiarach uwzględniających zużycie jego elementów w procesie eksploatacji;
7. przeprowadzenie analizy otrzymanych wartości wielkości kinematycznych oraz dynamicznych wirtualnego modelu działka pod kątem pozyskiwania danych o skutkach zmian wartości parametrów diagnostycznych.

W prowadzonych badaniach wykorzystano oprogramowanie Solid Edge v.9 z dziedziny komputerowego wspomaganie projektowania (CAD – *Computer Aided Design*), które jest przeznaczone do modelowania elementów i zespołów mechanicznych. Wykorzystano również oprogramowanie visualNastran 4D Desktop jako program z grupy komputerowego wspomaganie obliczeń inżynierskich (CAE – *Computer Aided Engineering*), czyli wykonywania obliczeń wytrzymałościowych, symulacji układów kinematycznych i dynamicznych.

Planując zakres prowadzonych badań wzięto pod uwagę fakt, że dla poprawnego działania układów kinematycznych działka istotne jest zachowanie odpowiednich przedziałów czasowych oraz wartości przemieszczeń liniowych i kątowych ruchomych mechanizmów broni, w których następuje włączanie do pracy lub wyłączanie poszczególnych elementów działka. Dlatego też postanowiono dokonać analizy kinematycznej mechanizmów wybranego działka lotniczego dla cyklu jego pracy biorąc pod uwagę możliwość występowania różnych wartości prędkości odrzutu lufy. Bardzo istotną rzeczą z punktu widzenia niezawodności działka jest również poprawność funkcjonowania jego mechanizmów pod względem dynamicznym, zwłaszcza analiza rozdziału energii napędowej i występujących wartości sił i momentów sił w cyklu jego pracy. Stąd też zaplanowano również przeprowadzenie analizy dynamicznej mechanizmów wybranego działka lotniczego.

Bardzo istotnym punktem prezentowanej pracy było wykonanie badań wpływu zużycia elementów działka na parametry kinematyczne jego mechanizmów poprzez wyznaczenie wybranych wielkości kinematycznych w modelu działka o wymiarach nominalnych jak i wymiarach uwzględniających zużycie jego elementów w procesie eksploatacji.

## **2. Modelowanie bryłowe działka lotniczego NR-30**

Podstawowym elementem w procesie projektowania bądź analizy układów mechanicznych wykorzystujących wspomaganie komputerowe jest stworzenie odpowiednich modeli wirtualnych jego elementów. Dlatego też pierwszym etapem przygotowania badań było stworzenie wirtualnych modeli elementów działka lotniczego NR-30. W niniejszej pracy postanowiono zastosować modelowanie bryłowe 3D typu B-Rep, gdyż ta forma zapisu niesie ze sobą większość niezbędnych informacji o modelowanym elemencie. W pracy wykorzystywano „środowisko modelowania części – *Part*” wchodzące w skład oprogramowania Solid Edge v.9, które umożliwia konstruowanie modeli 3D. Efekty tej pracy zilustrowano na

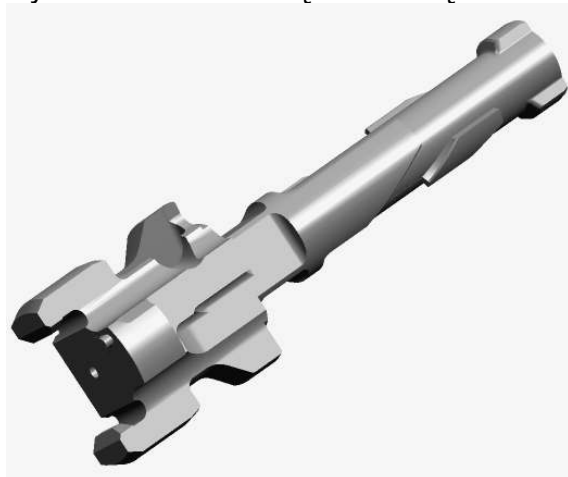
przedstawionych przykładowych płaskich reprezentacjach przestrzennych modeli CAD elementów działka NR-30 (od rys.1 do rys.4).



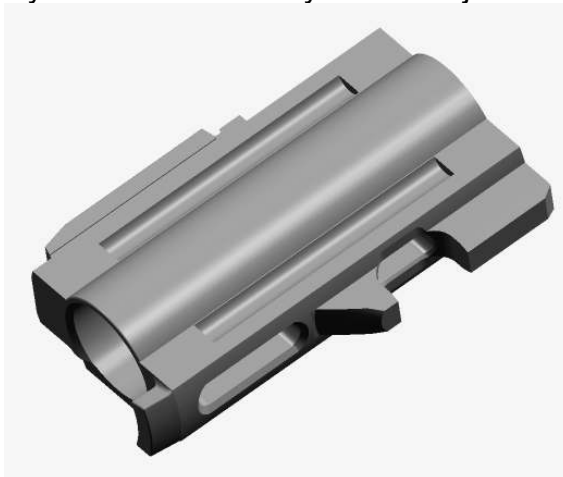
Rys.1. Lufa z komorą zamkową



Rys.2. Osłona komory zamkowej



Rys.3. Zamek



Rys.4. Uderzak



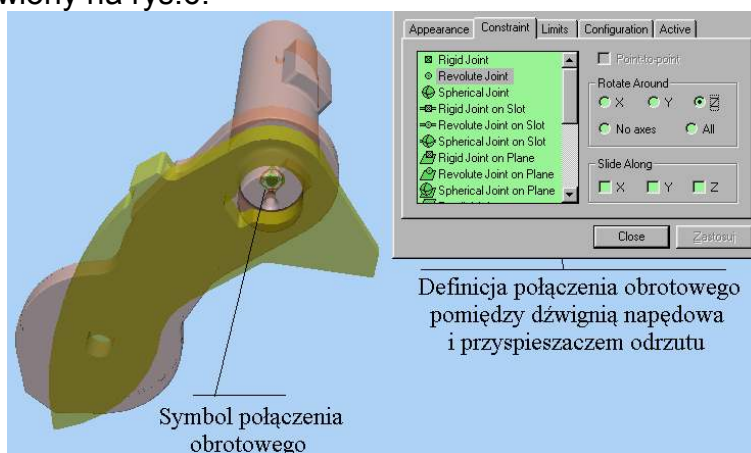
Rys.5. Model przestrzenny działka lotniczego NR-30

W kolejnym etapie działania wykorzystano „środowisko zespołu – *Assembly*”, wchodzące w skład oprogramowania Solid Edge v.9, które umożliwia dokonanie scalania oddzielnych modeli części. Bazując na stworzonych modelach 3D poszczególnych części działka zdefiniowano relacje występujące między nimi tworząc model przestrzenny działka lotniczego NR-30 (rys.5).

### 3. Modelowanie funkcjonowania obiektu w środowisku wirtualnym

Kolejnym etapem zaprezentowanej w pracy metody badań działka NR-30 było przygotowanie modelu wirtualnego do analizy kinematycznej z wykorzystaniem oprogramowania visualNastran Desktop 4D. Zgodność formatu danych modeli CAD wykorzystywanego w niniejszej pracy oprogramowania pozwoliła na swobodne przesyłanie między programami stworzonych wirtualnych modeli elementów działka NR-30 oraz modelu całego ciągu kinematycznego.

Modelowanie funkcjonowania obiektu w środowisku wirtualnym rozpoczęto od zdefiniowania zależności kinematycznych dla elementów funkcjonalnych modelu działka. Polegało to na określeniu odpowiednich więzów dla wzajemnie współpracujących elementów wybranego ciągu kinematycznego. Symulację ruchu analizowanego mechanizmu zrealizowano poprzez zastosowanie wirtualnego silnika liniowego, który oddziaływał na lufę wirtualnego działka. Wartości przemieszczenia lufy występujące podczas wystrzału zaczerpnięte zostały z wykresu przemieszczenia lufy podanego przez producenta w instrukcji obsługi wyrobu. Przykład definiowania więzów kinematycznych dla wybranych elementów badanego ciągu kinematycznego został przedstawiony na rys.6.



Rys.6. Przykład definicji połączenia obrotowego pomiędzy dwoma elementami

### 4. Wyznaczenie wielkości kinematycznych w modelu działka dla cyklu jego pracy

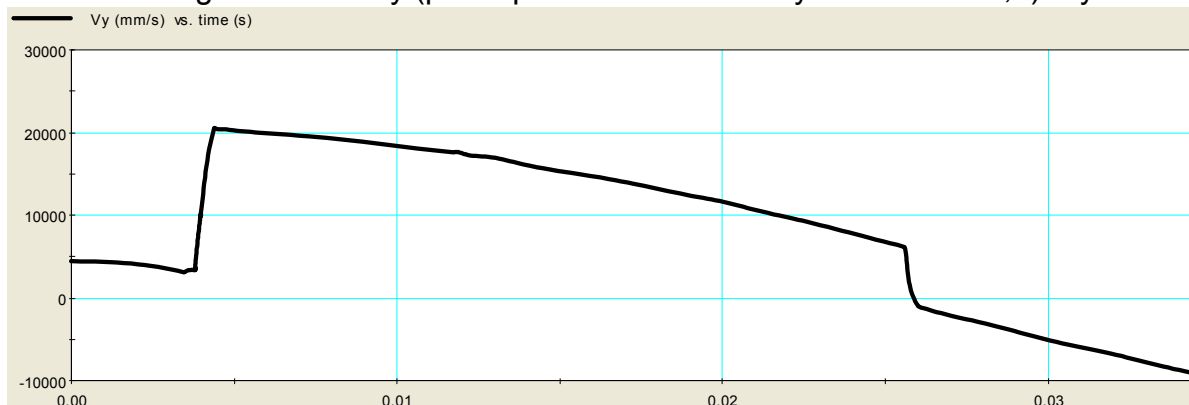
Kolejnym etapem w prezentowanych badaniach była analiza kinematyczna mechanizmu działka. Podczas symulacji ruchu wirtualnego mechanizmu działka prowadzone były obliczenia oraz wizualizacja wybranych wielkości kinematycznych dla interesujących nas części modelu. W wykorzystywanym oprogramowaniu istnieje możliwość wyznaczenia następujących wielkości fizycznych: przemieszczenie, prędkość oraz przyspieszenie zarówno kątowe jak i liniowe, a także pozycja względem wybranego układu współrzędnych. Możemy również wprowadzić własne

zależności matematyczne, które będą określały mierzone wielkości. Ponadto podczas symulacji działania mechanizmów podczas ich ruchu wykrywane są wszelkie kolizje elementów wchodzących w ich skład co znacznie ułatwia obserwację wszelkich nieprawidłowości w ich funkcjonowaniu.

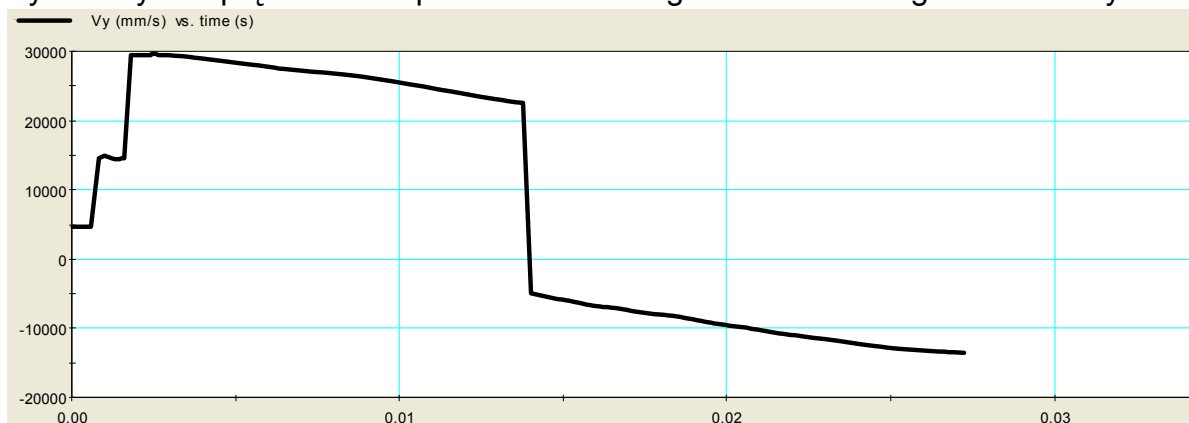
Przystępując do próby przeprowadzenia analizy kinematycznej wybranych mechanizmów modelu działka napotkano pewne trudności w przeprowadzeniu procesu obliczeniowego. Analizując zaistniałe problemy stwierdzono, że zbudowany model działka jest zbyt złożony w porównaniu z możliwościami obliczeniowymi wybranego oprogramowania. Postanowiono więc do celów obliczeniowych uprościć model działka w ten sposób aby usunąć z niego elementy które nie biorą bezpośredniego udziału w pracy wybranych mechanizmów oraz są mało istotne z punktu widzenia wykonywanych obliczeń. Jako przykład dokonanych uproszczeń można wymienić usunięcie zbędnych zaokrągłeń technologicznych, gwintów, części lufy oraz osłony komory zamkowej itp.

Wykonane badania parametrów kinematycznych mechanizmu działka oparte były o przyjęte z instrukcji działka nominalne przemieszczenie lufy podczas wystrzału. W procesie eksploatacji działek lotniczych wystąpić mogą jednak pewne odchylenia w prędkości odrzutu lufy (wywołane np.: różnicami parametrów stosowanych pocisków). Postanowiono więc w kolejnym etapie obliczeń wyznaczyć wartość prędkości liniowej zespołu uderzeniowego (zamek + uderzak) dla nominalnej wartości odrzutu lufy oraz dla zwolnionego i przyspieszonego odrzutu. Wyniki przeprowadzonych badań zostały przedstawione na odpowiednich wykresach prędkości liniowej zespołu uderzeniowego dla:

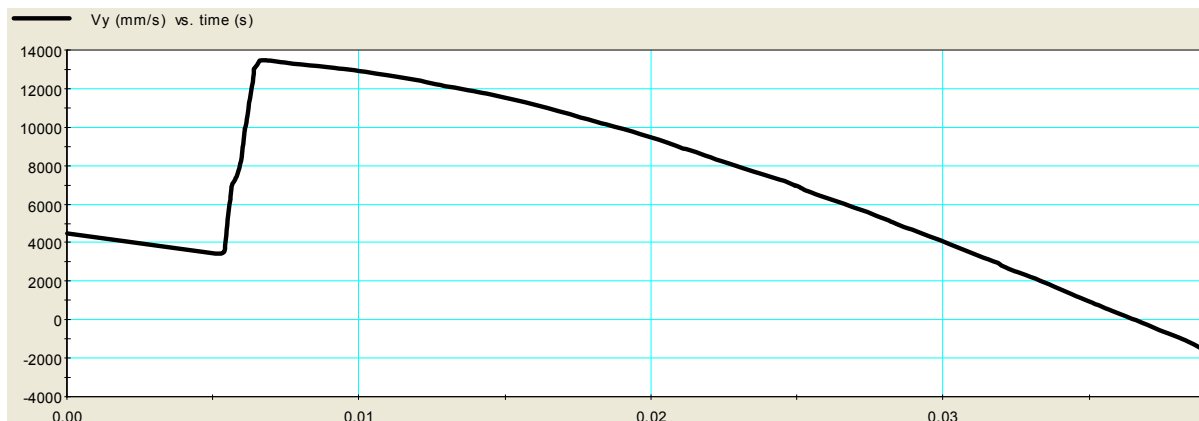
- nominalnej wartości odrzutu lufy (pełne przemieszczenie lufy w czasie  $T$ ) - rys.7,
- przyspieszonego odrzutu lufy (pełne przemieszczenie lufy w czasie  $T \times 0,5$ ) - rys.8,
- zwolnionego odrzutu lufy (pełne przemieszczenie lufy w czasie  $T \times 1,5$ ) - rys.9.



Rys.7. Wykres prędkości zespołu uderzeniowego dla nominalnego odrzutu lufy



Rys.8. Wykres prędkości zespołu uderzeniowego dla przyspieszonego odrzutu lufy



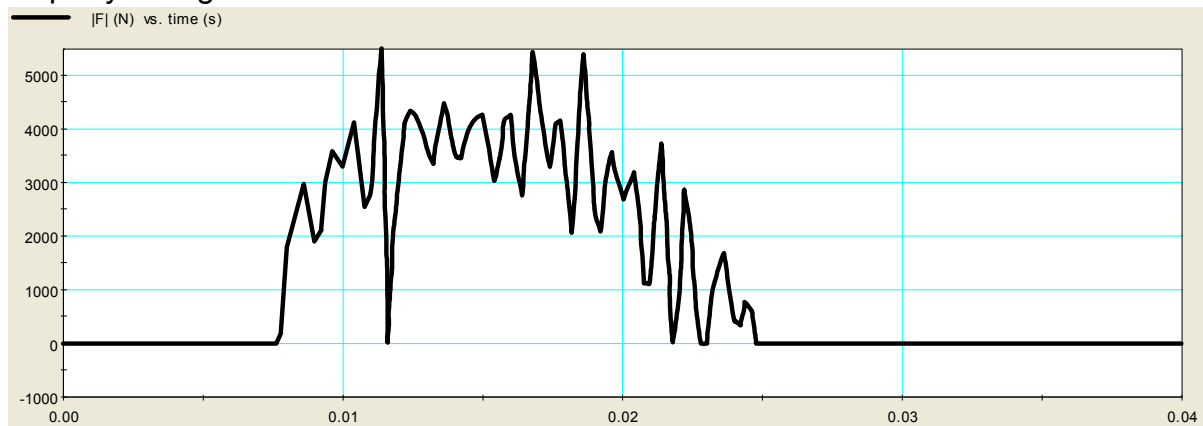
Rys.9. Wykres prędkości zespołu uderzeniowego dla zwolnionego odrzutu lufy

Na podstawie otrzymanych wyników symulacji możemy zaobserwować zmiany prędkości zespołu uderzeniowego działka podczas przemieszczania się go w tylne położenie. Na tej podstawie możemy wyznaczyć energię kinetyczną zespołu uderzeniowego działka, która jest zużywana między innymi na pokonanie oporu sprężyny zaczepu automatycznego działka. Z tego też względu wartość tej energii musi być na tyle duża aby umożliwić zadziałanie mechanizmu zaczepu automatycznego działka (zatrzymanie zespołu uderzeniowego w tylnym położeniu) co warunkuje prawidłową pracę działka. Energia zespołu uderzeniowego podczas zatrzymywania się na zaczepie samoczynnym nie może być również zbyt duża ponieważ będzie to powodowało nadmierne zużywanie się zaczepu samoczynnego oraz tyłka a nawet może doprowadzić do zniszczenia mechanizmu. Na podstawie przedstawionych wykresów prędkości zespołu uderzeniowego możemy zauważyć, że dla nominalnego odrzutu lufy zespół uderzeniowy w chwili spotkania z zaczepem samoczynnym posiada pewną wartość energii umożliwiającą prawidłowe funkcjonowanie działka. W przypadku odrzutu spowolnionego zespół uderzeniowy w chwili spotkania z zaczepem samoczynnym posiada tak małą prędkość, że może nie dojść do zatrzymania go w tylnym położeniu. Przypadek odrzutu lufy przyspieszonego wskazuje natomiast na możliwość przyspieszonego zużywania się mechanizmu wskutek dużej energii kinetycznej zespołu uderzeniowego w chwili uderzenia w tyłek oraz zaczep samoczynny. Szczegółowe określenie dopuszczalnych wartości minimalnych oraz maksymalnych energii kinetycznej zespołu uderzeniowego będzie realizowane w przyszłości w ramach kontynuacji prezentowanej pracy.

## 5. Wyznaczenie wielkości dynamicznych w modelu działka dla cyklu jego pracy (sił i momentów sił)

Znając kinematykę mechanizmu broni działka NR-30, czyli charakter ruchu jego elementów, w kolejnym kroku podjęto się zadania określenia sił powstających podczas cyklu pracy i oddziaływujących na przemieszczające się elementy mechanizmu broni. Przeprowadzenie tego typu badań będzie pomocne w ocenie wpływu zmiany wartości sił występujących pomiędzy współpracującymi ogniwami mechanizmu na niezawodność broni. Podczas symulacji ruchu wirtualnego mechanizmu prowadzone były obliczenia i wizualizacja wybranych wielkości dynamicznych takich jak: siły, momenty sił, siły tarcia, reakcje w podporach itp. Jako przykład wykonanych obliczeń na wykresie przedstawiono siłę występującą

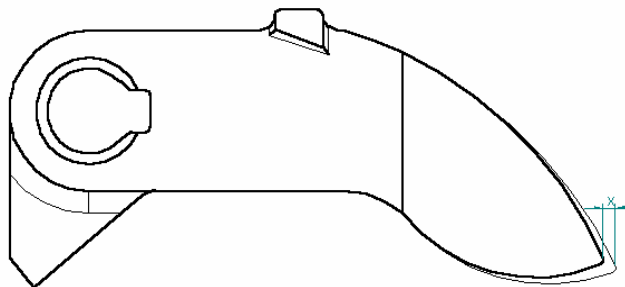
między komorą zamkową a przyspieszaczem odrzutu (rys.10). Otrzymane wyniki badań planuje się wykorzystać w przyszłości w analizie wytrzymałościowej rozpatrywanego mechanizmu działka.



Rys.10. Wykres siły występującej pomiędzy komorą zamkową a przyspieszaczem odrzutu

## 6. Badanie wpływu zużycia powierzchniowego elementów działka na parametry kinematyczne i dynamiczne jego mechanizmów

Bardzo istotnym punktem proponowanej metody badań jest analiza kinematyczna i dynamiczna mechanizmu działka którego elementy mają zmienione na wskutek zużycia powierzchniowego wymiary gabarytowe. Do przeprowadzenia takiej analizy przebudowano wirtualne modele części wchodzących w skład mechanizmu działka. Dokonano tego poprzez usunięcie określonej warstwy materiału w miejscach zaobserwowanego podczas eksploatacji zużywania się danego elementu działka. W celu zobrazowania metody analizy wirtualnego modelu działka z zasymulowanym zużyciem (uszkodzeniem) jego elementów, dokonano przebudowania modelu wirtualnego przyspieszacza odrzutu. Zostało to wykonane poprzez zdjęcie określonej warstwy wierzchniej jego powierzchni współpracującej z komorą zamkową oraz nakładką przyspieszacza. Zmiana geometrii przyspieszacza pokazana jest na rys.11.



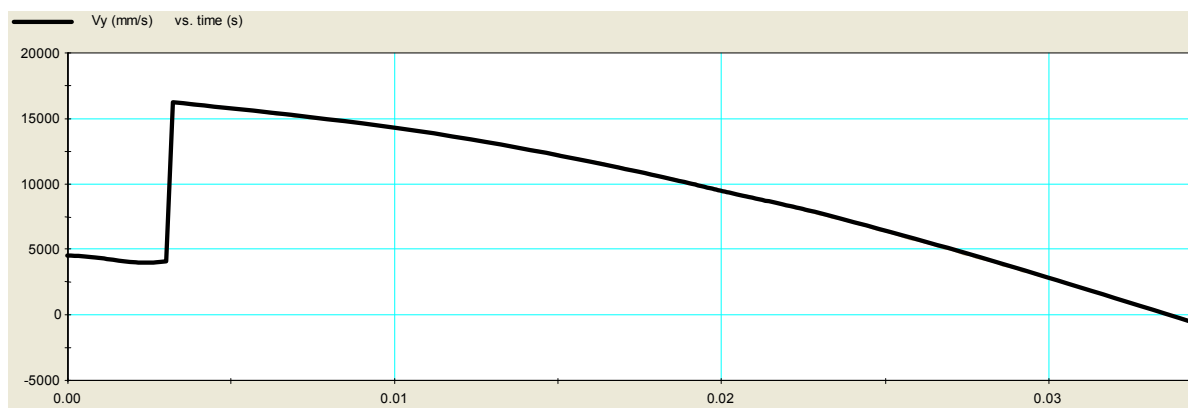
Rys.11. Modyfikacja geometrii przyspieszacza odrzutu

Po przeprowadzeniu modyfikacji modelu przyspieszacza odrzutu została dokonana modernizacja modelu ciągu kinematycznego w programie visualNastran. Po tej operacji została przeprowadzona symulacja ruchu całego układu mechanicznego z jednoczesnym wyznaczeniem wymaganych w analizie wielkości kinematycznych. Na tej podstawie została dokonana analiza porównawcza wyznaczonych wielkości charakterystycznych dla ciągu kinematycznego o

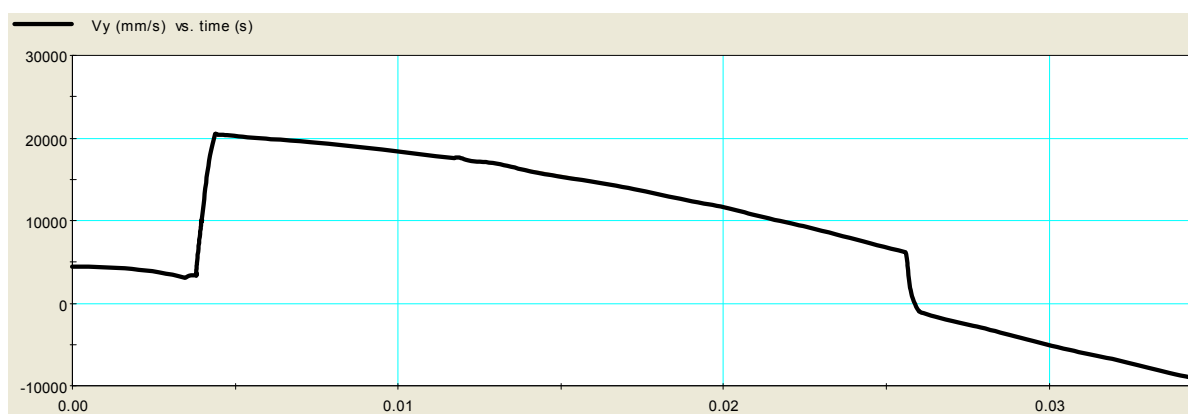


nominalnych wymiarach elementów oraz ciągu z zasymulowanym zużyciem jego elementu (przyspieszacza odrzutu).

Porównując otrzymane wartości prędkości przemieszczania się zespołu uderzeniowego przedstawione na rys.12 oraz rys.13 można zauważyć, że na skutek zużycia przyspieszacza odrzutu zmniejszyła się prędkości zespołu uderzeniowego. Zmniejszona wartości tej prędkości skutkuje tym, że w chwili spotkania z zaczepem samoczynnym zespół uderzeniowy może nie posiadać wystarczającej energii kinetycznej do pokonania sprężyny zaczepu przez co nie zostanie on zatrzymany w tylnym położeniu. Można więc wysnuć wniosek, że przy tego typu zużyciu przyspieszacza odrzutu działko nie będzie poprawnie funkcjonować.



Rys.12. Wykres prędkości przemieszczania się zespołu uderzeniowego dla zmodyfikowanych wymiarów przyspieszacza odrzutu symulujących jego zużycie



Rys.13. Wykres prędkości przemieszczania się zespołu uderzeniowego dla nominalnych wymiarów przyspieszacza odrzutu

## 7. Wnioski końcowe

W artykule przedstawiono metodę tworzenia i badania modelu symulacyjnego działka lotniczego NR-30, które jest montowane na samolocie Su-22. Wyniki, które można uzyskać z badań modelu symulacyjnego działka stanowią bardzo istotną informację o skutkach zmian wartości parametrów diagnostycznych tego działka wykorzystywaną w ocenie jego trwałości i niezawodności.



Wykonanie odpowiedniego modelu symulacyjnego działka NR-30 umożliwia łatwiejsze oraz szybsze uzyskanie informacji o zachowaniu się badanego urządzenia przy działaniu różnych czynników, (co minimalizuje ilość badań doświadczalnych w postaci strzelań poligonowych). Ponadto w badaniach można uwzględnić działanie czynników, które w przypadku rzeczywistej konstrukcji mogą doprowadzić do jego uszkodzenia lub zniszczenia, co pociąga za sobą ogromne koszty a przede wszystkim zagraża bezpieczeństwu obsługi SAA. Należy również nadmienić, że w procesie modelowania można dokonać odpowiedniej zmiany czasu symulacji, dzięki czemu można modelować zjawiska przebiegające zbyt szybko jak na możliwości ich obserwacji, co jest szczególnie istotne w przypadku działek lotniczych.

Realizując poszczególne punkty zaproponowanej metody badań napotkano jednak na pewne trudności. Podczas konstruowania modeli elementów bardzo istotnym problemem stało się pozyskanie dokładnych wymiarów gabarytowych tych części ponieważ nie dostępne są ich rysunki wykonawcze (producent nie przekazał szczegółowej dokumentacji technicznej). Z tym problemem poradzono sobie poprzez dokonanie pomiarów warsztatowych wymiarów tych elementów za pomocą różnego typu przyrządów mikrometrycznych. Drugim problemem występującym podczas procesu modelowania było żmudne budowanie niekiedy bardzo skomplikowanych elementów bryłowych, co wymagało dobrego rozpoznania narzędzi wykorzystywanego oprogramowania oraz dużego nakładu czasu pracy. Przystępując do próby przeprowadzenia analizy kinematycznej oraz dynamicznej wybranych mechanizmów modelu działka napotkano pewne trudności w przeprowadzeniu procesu obliczeniowego. Analizując zaistniałe problemy stwierdzono, że zbudowany model działka jest zbyt złożony w porównaniu z możliwościami obliczeniowymi wybranego oprogramowania. Postanowiono więc do celów obliczeniowych uprościć model działka w ten sposób aby usunąć z niego elementy które nie biorą bezpośredniego udziału w pracy wybranych mechanizmów oraz są mało istotne z punktu widzenia wykonywanych obliczeń.

Ze względu na szeroki wachlarz możliwości prowadzonych badań i uzyskane dotychczas wyniki planuje się wykorzystać opracowaną metodę badań do dalszej kompleksowej analizy głównych ciągów kinematycznych działka NR-30. Otrzymane wyniki badań numerycznych zostaną w przyszłości poddane weryfikacji w oparciu o pomiary doświadczalne wybranych wielkości.

Podsumowując należy stwierdzić, że analiza wyników, które można uzyskać przy realizacji badań z wykorzystaniem zaproponowanej metody badań stanowi jeden z ważniejszych etapów w procesie opracowywania zasad eksploatacji działek lotniczych wg stanu technicznego. Jednakże należy zaznaczyć, że przeprowadzone badania mają charakter aplikacyjny i będą kontynuowane w dalszych pracach w celu uzyskania wyników, które pozwolą na maksymalne ich wykorzystanie w praktyce eksploatacyjnej.

## Literatura

- [1] E. Adamczyk, J. Juch, S. Miller: *Teoria mechanizmów i maszyn. Analiza układów mechanicznych*. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1980
- [2] Morecki, J. Oderfeld: *Teoria maszyn i mechanizmów*. PWN, Warszawa 1987
- [3] Z. Kafliński: *Lotnicza broń luflowa. Podstawy obliczeń urządzeń i mechanizmów broni*. WAT, Warszawa 1981

- [4] Z. Kafliński: *Lotnicza broń lufowa. Zasady budowy i działania*. WAT, Warszawa 1979
- [5] Praca zbiorowa: *Działko lotnicze NR-30. Opis techniczny i eksploatacja*. Dowództwo wojsk lotniczych, Poznań 1991
- [6] Z. Idziaszek: *Zarys metody oceny trwałości szybkostrzelnych armat automatycznych wykorzystującej zmiany parametrów diagnostycznych zasadniczych zespołów*. ZEM, Z.2/2004, str 97-109.