TKI2016 XIV Konferencja Naukowo-Techniczna
TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

# Koncepcja obliczeń numerycznych zastosowanych w programie wdrożenia napraw elementów samolotu MiG-29

**Michał Stefaniuk[1], Krzysztof Jankowski[1], Piotr Synaszko[1], Marcin Kurdelski[1]**

[1]Zakład Zdatności do Lotu Statków Powietrznych, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
email: michal.stefaniuk@itwl.pl, krzysztof.jankowski@itwl.pl, piotr.synaszko@itwl.pl, marcin.kurdelski@itwl.pl

**STRESZCZENIE:** W niniejszej pracy przedstawiono podejście badawczo-eksperymentalne niezbędne do zrealizowania programu opracowania kompozytowych napraw elementów samolotu MiG-29. Istotnym elementem tego programu jest opracowanie metodyki badań numerycznych mającej na celu umożliwienie prognozowania zużycia naprawianych elementów w eksploatacji. Metodyka pozwoli na szacowanie krytyczności oraz prognozowanie rozwoju zastanych w eksploatacji uszkodzeń. Dane o tych uszkodzeniach będą pochodzić z wyników inspekcji nieniszczących. Szczególnie problematyczne jest prognozowanie rozwoju uszkodzeń (odklejeń i rozwarstwień) na kompozytowym stateczniku pionowym. W ramach projektu, na podstawie wyników badań aerodynamicznych, badań w locie oraz na podstawie zapisów lotu z wielu lat, określone zostało spektrum i rozkład obciążeń na stateczniku. Na tej podstawie możliwa jest symulacja zachowania tego elementu, oraz wpływ obciążeń eksploatacyjnych na rozwój i powstawanie uszkodzeń. Jednakże oprócz trudności związanych z opracowaniem geometrycznych modeli, kluczową kwestią jest uzyskane pełnej charakterystyki materiałów, a w szczególności procesu ich niszczenia. W tym celu w ramach projektu wykonana będzie seria badań laboratoryjnych. Sposób powiązania wyników tych badań z technikami modelowania komputerowego zarysowany jest w niniejszym artykule.

**SŁOWA KLUCZOWE**: rozwarstwienia, naprawy, łata

## 1. Charakterystyka projektu

W ramach programu opracowania technologii naprawy elementów konstrukcji płatowca samolotu MiG-29 realizowanego przez Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych (ITWL) opracowana zostanie metodyka numerycznych analiz wytrzymałościowych a także wykonane zostaną obliczenia niezbędne do oceny opracowanych w Instytucie napraw, a także do oceny krytyczności uszkodzeń występujących na elementach samolotu – z których to uszkodzenia kompozytowego poszycia statecznika pionowego należą do najgroźniejszych.

W niniejszym artykule przedstawiona jest koncepcja programu badań numerycznych niezbędnych do osiągniecia powyższych celów. Ponieważ weryfikacja eksperymentalna modeli symulacyjnych jest niezbędnym krokiem do zapewnienia wiarygodności i wydajności analiz symulacyjnych, opisana jest także koncepcja stanowiskowych badań eksperymentalnych.

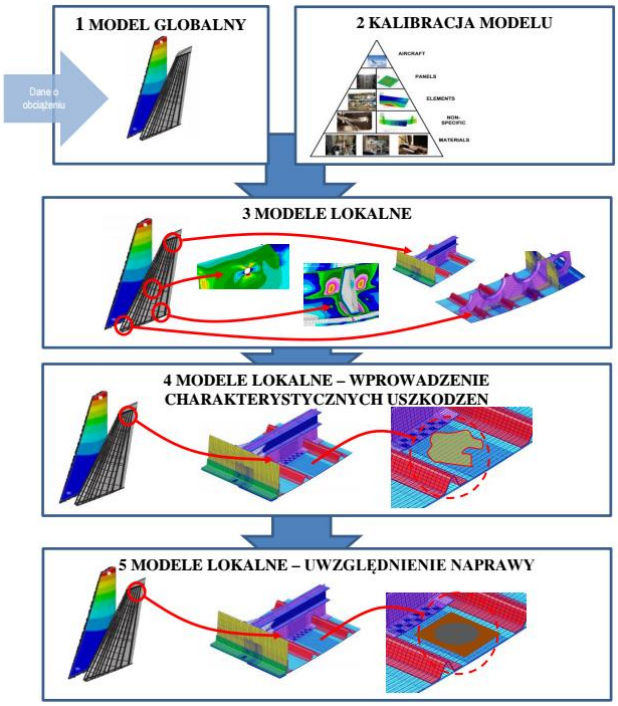
Wyniki obliczeń numerycznych a także metodyka ich wykonywania mają posłużyć ocenie wytrzymałości konstrukcji. Określenie wytrzymałości ma być możliwe dla dwóch głównych przypadków:

- Określenie krytyczności dla danego, zastanego uszkodzenia – na tej podstawie określana będzie konieczność wykonania naprawy.
- Określenie wytrzymałości dla konstrukcji z wprowadzaną naprawą (metodyka numeryczna także wspomoże proces projektowania parametrów naprawy).

## 2. Piramida testów

Ze względu na złożoność struktury, do opracowania i weryfikacji modeli symulacyjnych wymagane jest podejście wieloetapowe (tzw. „piramida testów” [1, 2]). Podejście to polega na posłużeniu się serią uproszczonych modeli (o rosnącej złożoności), jako kroków prowadzących do budowy i ostatecznej weryfikacji pełnoskalowego modelu. Badania prowadzone na modelach uproszczonych są łatwiejsze do realizacji i analizy. Z kolei badania prowadzone na modelach szczegółowych pozwalają na weryfikacje realistycznej struktury. Kombinacja informacji zebranych w ramach badań uproszczonych modeli służy do zbudowania modelu pełnoskalowej struktury.

Tego typu podejście można zastosować na każdym poziomie złożoności modelu – tj. przykładowo: model komponentu opiera się na modelach jego subkomponentów, modele subkomponentów opierają się na modelach pojedynczych połączeń, modele połączeń opierają się na modelach mikromechanicznych itd. Każdy stopień złożoności modelu pozwala na wiarygodniejsze opracowanie modelu na następnym stopniu złożoności.




Rys. 1. Schemat obliczeń numerycznych w projekcie

Schemat uwzględnienia danych zebranych w ramach piramidy testów w modelach symulacyjnych przedstawiony jest na rys. 1.

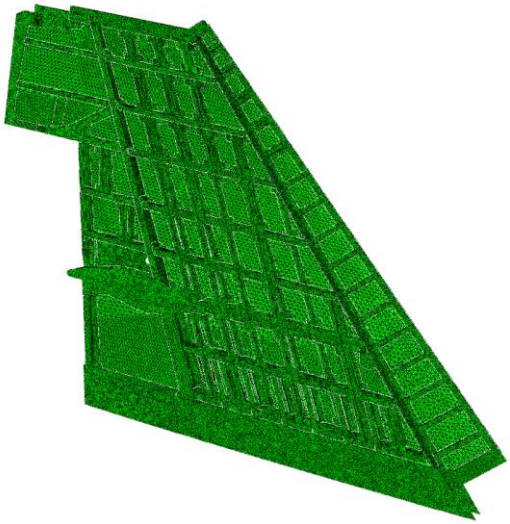
## 3. Elementy struktury i rodzaje uszkodzeń

Stateczniki i elementy usterzenia samolotu MiG-29 są elementami połskorupowymi, na które w ogólności składają się: poszycie, podłużnice, dźwigary i żebra oraz wypełnienie ulowe (w przypadku stateczników poziomych). W przypadku statecznika pionowego poszycie wykonane jest z materiału kompozytowego; żebra i dźwigary wykonane są ze stopów aluminium. Występują dwa rodzaje podłużnic – metalowe i kompozytowe. Połączenia wykonane są przy pomocy klejenia i nitowania. W elementach stateczników można wyróżnić charakterystyczne powtarzalne obszary, w których występuje kombinacja wyżej wymienionych rodzajów połączeń, materiałów i podstruktur. Każdy z charakterystycznych obszarów wymaga odrębnych technik modelowania i walidacji eksperymentalnej. Zweryfikowanie modelu dla każdego przykładowego podobszaru pozwoli na realistyczne symulacje całej konstrukcji stateczników i elementów usterzenia. Z tego względu zastosowanie koncepcji piramidy testów jest niezbędne.

Do przykładowych typów uszkodzeń występujących w elementach usterzenia, zaliczyć można: wgniecenia, pęknięcia, utratę stateczności pojedynczego elementu wypełniacza ulowego, odklejenia kompozytowych podłużnic [3], wyboczenie panelu kompozytowego [4, 5], powstawanie i rozwój rozwarstwień w materiale kompozytowym czy odklejenia poszycia od wypełniacza ulowego. Każdy z wymienionych przypadków musi być uwzględniony w celu umożliwienia prognozowania stanu naprawianego elementu.

## 4. Modele numeryczne

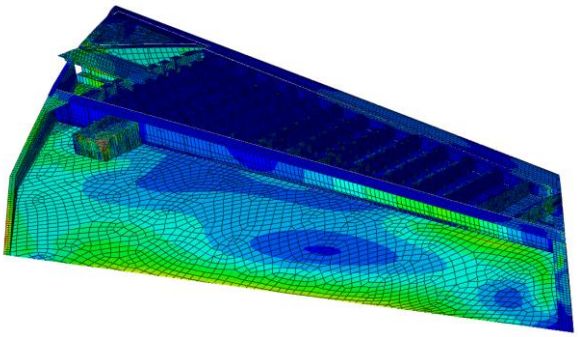
W ramach projektu przygotowano serię modeli numerycznych w oprogramowaniu ABAQUS [6] (rys. 2 i 3). Modele elementów ze strukturą przekładkową (klapa zaskrzydłowa, lotka, ster, stabilizator poziomy) – zostały opracowane głównie przy pomocy elementów powłokowych.



Rys. 2. Model obliczeniowy statecznika pionowego

Kompozytowy statecznik pionowy został wykonany przy pomocy elementów bryłowych. Takie podejście pozwoli na szczegółowe zamodelowanie zaistniałych, lokalnych uszkodzeń, których kształt zostanie uzyskany w ramach badań nieniszczących i inspekcji prowadzonych przez ITWL.

.



Rys. 3. Model obliczeniowy stabilizatora poziomego

Opracowane modele pozwalają na rozpatrywanie globalnego zachowania całych elementów, a także pozwalają na symulację lokalnych podobszarów (np. zawierających uszkodzenia bądź naprawy).

## 5. Podsumowanie

W pracy przedstawiony zostanie schemat działań niezbędnych do realizacji projektu. Przedstawiony będzie harmonogram badań laboratoryjnych, przedstawione zostaną projekty próbek walidacyjnych, oraz opisane zostaną także opracowane modele numeryczne, wraz ze wstępnymi wynikami obliczeń.

## Literatura


[1] Bertolini, J., Castanié, B., Barrau, J. J., & Navarro, J. P. (2009). *Multi-level experimental and numerical analysis of composite stiffener debonding. Part 1: Non-specific specimen level*. Composite Structures, 90(4), 381-391.

[2] MIL-HDBK-17-2F: *Composite Materials Handbook. Polymer Matrix Composites: Materials Usage, Design, and Analysis 17* (2002).

[3] Orifici, A. C., Thomson, R. S., Degenhardt, R., Kling, A., Rohwer, K., & Bayandor, J. (2008). *Degradation investigation in a postbuckling composite stiffened fuselage panel*. Composite Structures, 82(2), 217-224.

[4] Bertolini, J., Castanié, B., Barrau, J. J., & Navarro, J. P. (2008). *An experimental and numerical study on omega stringer debonding*. Composite Structures, 86(1), 233-242..

[5] Melin, L. G., & Schön, J. (2001). *Buckling behaviour and delamination growth in impacted composite specimens under fatigue load: an experimental study*. Composites science and technology, 61(13), 1841-1852.

[6] *ABAQUS 6.14 documentation* Dassault Systemes Simulia Corporation.