



## Numeryczne badanie wpływu zastrzału wzmacniającego podwozie na pierwotną konstrukcję śmigłowca morskiego

PAWEŁ SZAMBORSKI, MARCIN KURDELSKI

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych,  
01-494 Warszawa, ul. Księcia Bolesława 6

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano opis prac związanych z numeryczną analizą elementów wzmacniających podwozie śmigłowca morskiego. Podczas eksploatacji śmigłowca stwierdzono odkształcenia konstrukcji względem pierwotnej geometrii, aby powstrzymać pogłębianie się tych zmian zaproponowano wprowadzenie zastrzałów. W pracy zaprezentowano wykorzystanie modelu globalnego i modeli lokalnych MES oraz sposób weryfikacji obliczeń numerycznych z wykorzystaniem pomiarów tensometrycznych.

**Słowa kluczowe:** MES, struktura, pomiary odkształceń, śmigłowiec morski

**Symbole UKD:** 623.746.174

### 1. Wstęp

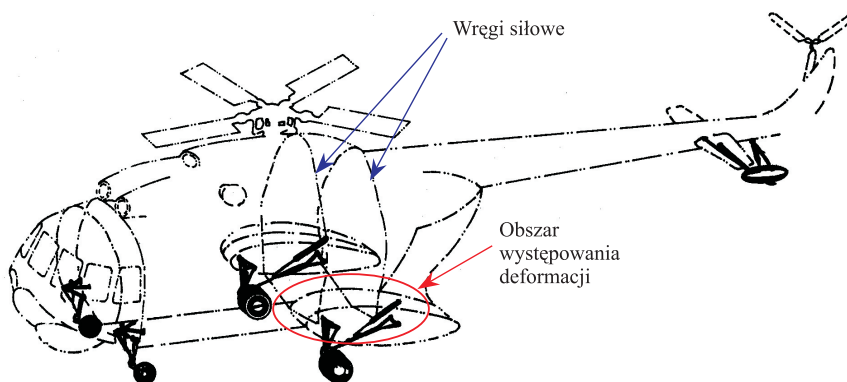
Przedmiotem niniejszego opracowania jest podwozie śmigłowca morskiego, zastrzał wzmacniający oraz konstrukcja kadłuba przejmująca obciążenia pochodzące od lądowania.

Ponieważ w trakcie eksploatacji śmigłowców stwierdzono odkształcenia w stosunku do prawidłowej geometrii płatowca (ustalonej w drodze niwelacji) i zlokalizowano osłabiony obszar konstrukcji, zdecydowano się zastosować zastrzały, których funkcją jest powstrzymanie tego procesu i polepszenie warunków pracy newralgicznego obszaru. Zastrzały mają za zadanie odciążyć elementy, które częściowo utraciły sztywność i zdolność do przenoszenia całości obciążenia pochodzącego od lądowania.

Celem analizy było wyznaczenie siły osiowej działającej na projektowany zastrzał oraz zbadanie jego wpływu na pracę pozostałych elementów płatowca.

Istotne jest stwierdzenie, czy po modyfikacji sposobu wprowadzania obciążenia w kadłub śmigłowca naprężenia nie przekroczą dopuszczalnych wartości.

Zastosowanie modyfikacji ma największy wpływ na elementy konstrukcyjne zaznaczone na rysunku 1.



Rys. 1. Sylwetka śmigłowca morskiego

## 2. Charakterystyka śmigłowca

Śmigłowiec będący przedmiotem analizy zbudowany jest w układzie jednowirnikowym ze śmigłem ogonowym. Napędzany jest dwoma silnikami turbinowymi.

Zależnie od wersji przeznaczony jest do poszukiwania, śledzenia i zwalczania okrętów podwodnych, nawodnych, misji poszukiwawczo-ratowniczych oraz zadań patrolowych.

Dolna część kadłuba w kształcie łodzi zaopatrzona po bokach w nadmuchiwane pływaki umożliwia wodowanie.

Do manewrowania po płycie lotniska śmigłowiec wyposażony jest w cztero-  
podporowe podwozie, dwie golenie główne i dwie golenie podwozia przedniego z samonastawnymi kołami.

Charakter i środowisko działania powodują, że śmigłowiec narażony jest na operowanie w trudnych warunkach mogących negatywnie wpływać na przebieg lądowania i powodować jego szybsze zużywanie.



Rys. 2. Śmigłowiec morski (załoga: 4 osoby; długość: 25,31 m; szerokość: 3,8 m; wysokość: 5,32 m; masa: 11 750 kg; prędkość maksymalna: 230 km/h; pułap praktyczny: 3500 m)

### 3. Model numeryczny konstrukcji śmigłowca

Ponieważ kadłub śmigłowca ma budowę półskorupową, składa się z podłużnic, wręg i pokrycia, dla zachowania określonego charakteru pracy konstrukcji, model MES wykonano jako powłokowo-belkowy.

W analizie posłużono się częścią modelu globalnego śmigłowca Mi-14 [1-3] biorącą udział w przyjmowaniu obciążeń od lądowania.

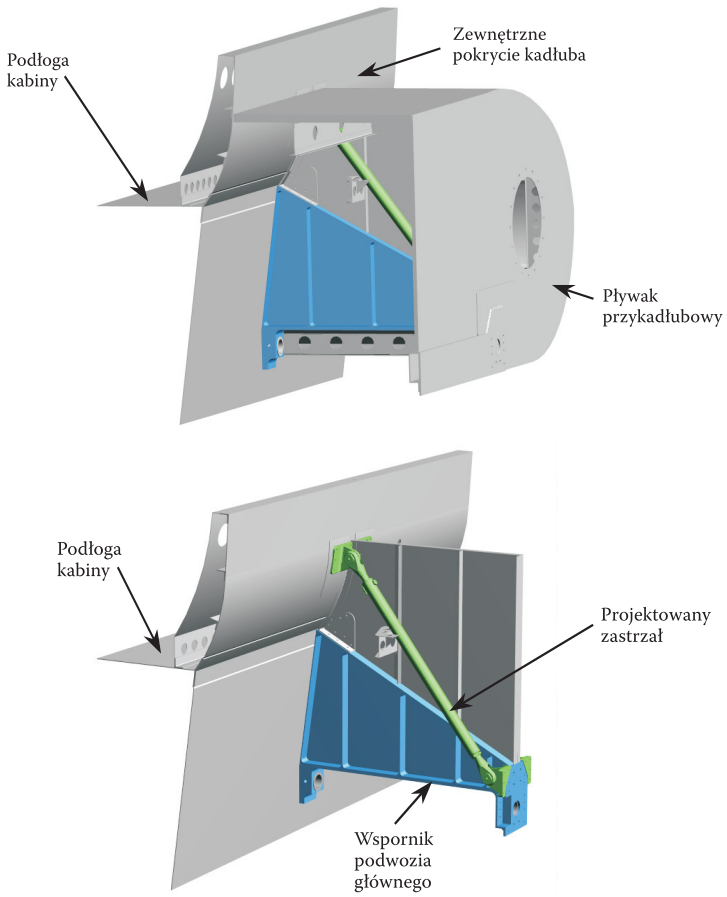
Do obliczeń wykorzystano model fragmentu kadłuba śmigłowca, który, jak wynika z analizy modelu globalnego, jest odpowiedzialny za przyjmowanie i dystrybucję obciążeń powstających podczas lądowania na podwoziu głównym.

Do zamodelowania pokryć kadłuba wykorzystano powłokowe elementy czterowzłowe, a do zamodelowania podłużnic wykorzystano dwuwzłowe elementy belkowe.

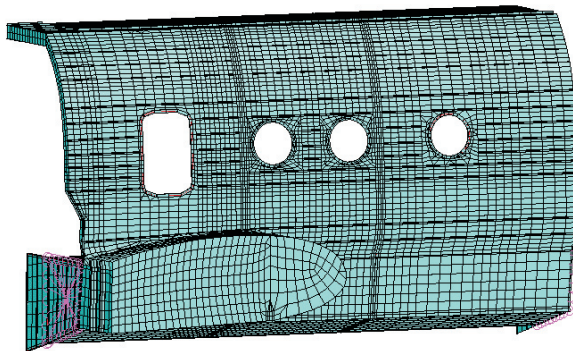
Cały model zbudowany jest z 15 162 elementów.

W rozpatrywanym modelu, który bazował na modelu globalnym, dokonano modyfikacji mających na celu zwiększenie dokładności obliczeń w obszarze wspornika, zagęszczono podział. Model wspornika podwozia (rys. 7) wykonano za pomocą elementów powłokowych czterowzłowych, modelując za ich pomocą zarówno ściankę, jak i pasy wspornika, z zachowaniem odpowiedniej grubości tych elementów.

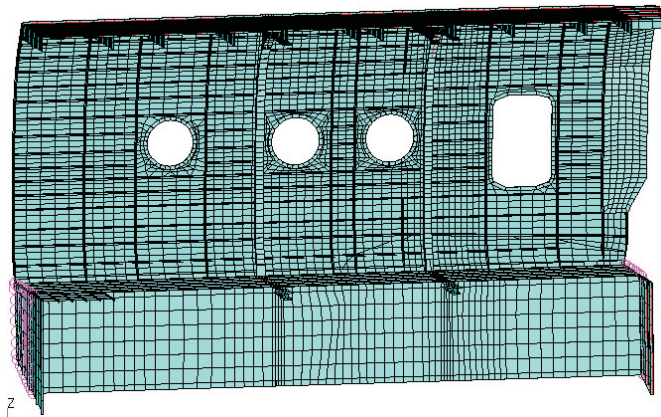
Zastrzał wzmacniający konstrukcję uwzględniono w modelu w postaci elementu prętowego o przekroju rurowym. Jako materiał, z którego wykonany jest zastrzał przyjęto stal 30HGSA.



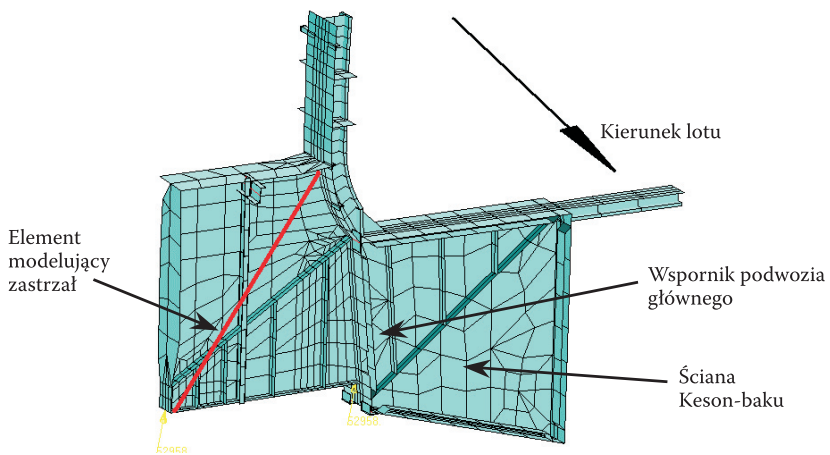
Rys. 3. Model geometryczny analizowanego obszaru konstrukcji



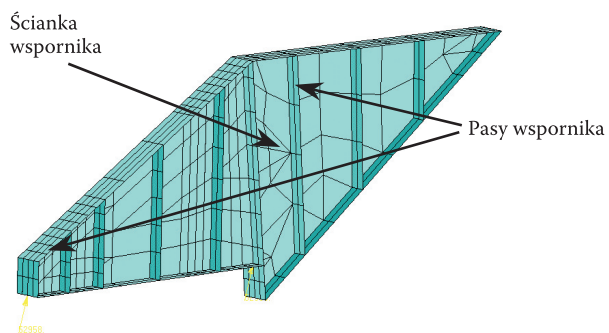
Rys. 4. Model wytrzymałościowy kadłuba, strona zewnętrzna



Rys. 5. Model wytrzymałościowy kadłuba, strona wewnętrzna



Rys. 6. Model fragmentu konstrukcji z zaznaczonym zastrzałem wzmacniającym



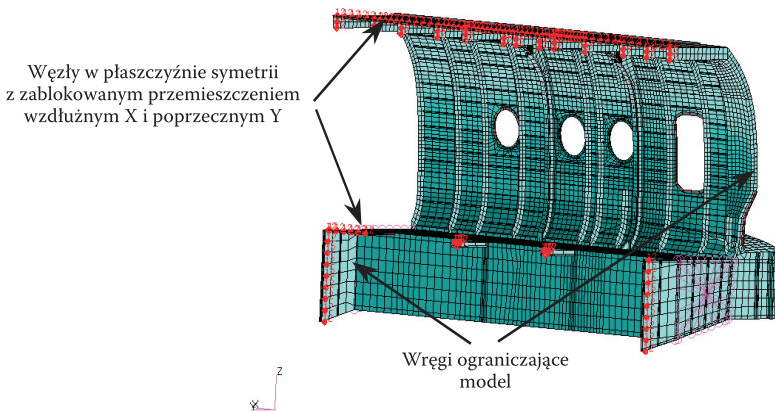
Rys. 7. Model powłokowy wspornika podwozia głównego

## 4. Warunki brzegowe

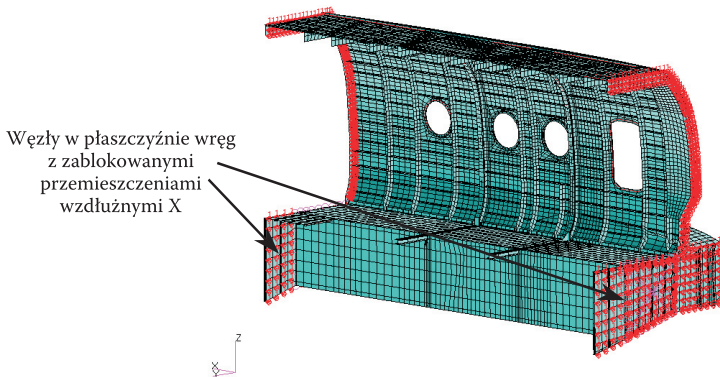
W celu zapewnienia poprawnego podparcia modelu odebrano węzłom znajdującym się w płaszczyźnie symetrii śmigłowca swobodę przemieszczeń w kierunku wzdłużnym X i poprzecznym Y. Ma to zapewnić symetryczną pracę modelu. Węzłom znajdującym się w płaszczyźnie wręg odebrano swobodę przemieszczeń w kierunku wzdłużnym X — ma to utrzymać te węzły w płaszczyźnie i zasymulować oddziaływanie pozostałej części kadłuba, nieujętej w modelu.

Dodatkowo za pomocą elementów sztywnych utwierdzono węzły elementów znajdujących się w przekroju keson-baku, odbierając im wszystkie przemieszczenia i możliwości obrotów. Stanowi to swego rodzaju „zamurowanie” tej części konstrukcji kadłuba.

W górnej części modelu, węzłom w miejscu zamocowania przekładni głównej odebrano możliwość przemieszczeń w kierunku pionowym Z.

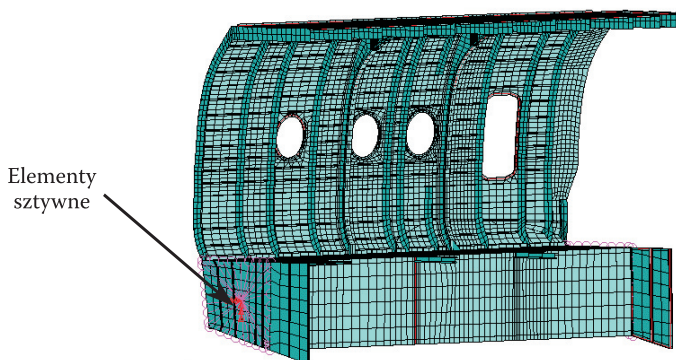


Rys. 8. Sposób utwierdzenia modelu w płaszczyźnie przekroju



Rys. 9. Sposób utwierdzenia modelu w płaszczyznach wręg





Rys. 10. Warunki brzegowe nałożone na keson-bak

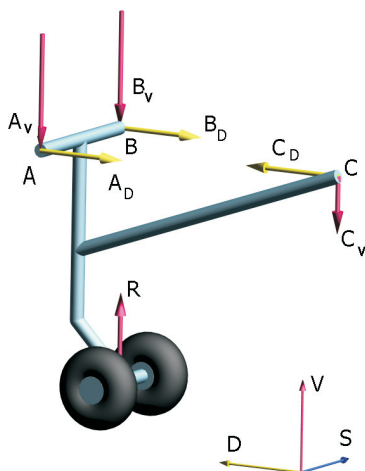
## 5. Obciążenia

Obciążenia podwozia pochodzące od lądowania wyznaczone w drodze analizy warunków podanych we wspólnych przepisach lotniczych JAR-29 „Wiropląty duże” [4] oraz warunków przedstawionych w [5] odnośnie obciążeń podwozia.

Do dalszych obliczeń przyjęto najbardziej krytyczny przypadek generujący największe obciążenia, czyli swobodny spadek śmigłowca z wysokości 0,5 m bez łagodzącego wpływu ciągu wirnika nośnego śmigłowca  $T_{WN} = 0$ . Przyjęto, że obciążenia wyznaczone w ten sposób są obciążeniami granicznymi.

Siły reakcji generowane na podwoziu w momencie lądowania obliczono, korzystając z metody energetycznej.

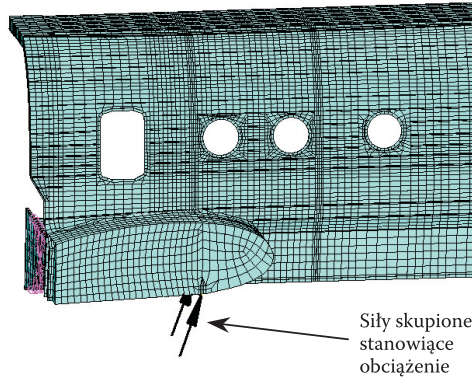
Wyznaczenia sił reakcji w miejscach zamocowania podwozia do kadłuba dokonano w oparciu o równania równowagi sił i momentów. Sposób zamocowania



Rys. 11. Schemat podwozia do wyznaczania reakcji w punktach mocowania do kadłuba

podwozia uproszczono w taki sposób, aby układ był statycznie wyznaczalny i pozwalał na otrzymanie reakcji z równań równowagi dla układu przestrzennego.

Obciążenia zadane zostały w postaci sił skupionych, przyłożonych do wspornika podwozia w miejscu zamocowania osi gołeni głównej.

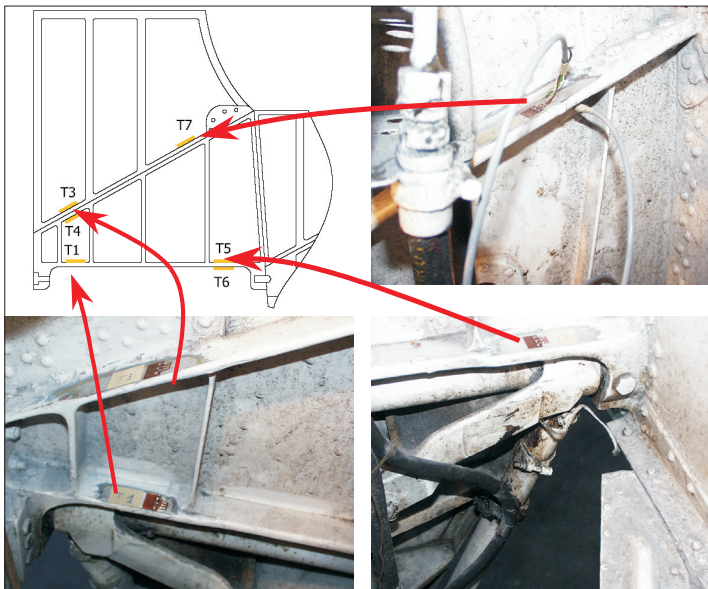


Siły skupione  
stanowiące  
obciążenie

Rys. 12. Obciążenie konstrukcji kadłuba

## 6. Weryfikacja modelu obliczeniowego

Weryfikacji modelu obliczeniowego dokonano w oparciu o pomiary tensometryczne przeprowadzone na śmigłowcu.



Rys. 13. Rozmieszczenie czujników tensometrycznych na wsporniku podwozia



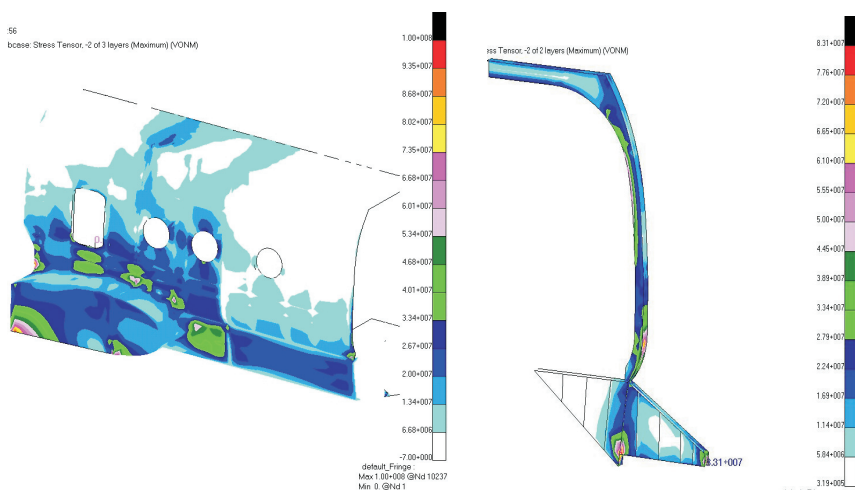
Celem weryfikacji było uzgodnienie modelu obliczeniowego śmigłowca niezmodyfikowanego, tak aby możliwie jak najdokładniej uwzględnić zmiany wywołane długotrwałą eksploatacją.

Pomiar zrealizowano za pomocą tensometrów usytuowanych na pasach wspornika podwozia głównego podczas postoju śmigłowca na własnym podwoziu i na podnośnikach. W trakcie badań śmigłowiec został zważony w taki sposób, aby znane było obciążenie oddziałujące na golenie główne.

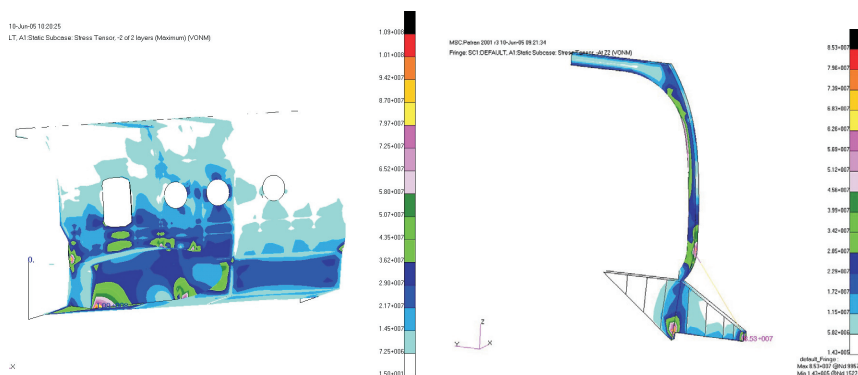
Otrzymane doświadczalnie naprężenia porównano z naprężeniami wyznaczonymi w modelu obliczeniowym dla odpowiadających sobie lokalizacji na wsporniku. Otrzymane wyniki w większości punktów pomiarowych są zbieżne, błąd względny nie przekracza 20%, co, biorąc pod uwagę uproszczenia i skomplikowaną geometrię, uznano za wynik zadowalający.

## 7. Wyniki analizy

Obliczenia prowadzone były w zakresie statyki liniowej. Ich celem było wyznaczenie naprężeń i przemieszczeń w konstrukcji śmigłowca z wprowadzonymi zastrzałami wzmacniającymi oraz porównanie ich wielkości dla konstrukcji pierwotnej, bez zastrzałów. Istotne było wyznaczenie siły ściskającej zastrzał.



Rys. 14. Mapa naprężeń zredukowanych w konstrukcji kadłuba i wrędze dla maksymalnego obciążenia od lądowania dla konstrukcji niezmodyfikowanej



Rys. 15. Mapa naprężeń zredukowanych w konstrukcji kadłuba i wrcdze nr 10 wzmocnionej zastrzałem

## 8. Wnioski

Wprowadzenie zastrzałów wzmocniających powoduje wzrost naprężeń o 2,6% w okolicy mocowania zastrzału do konstrukcji kadłuba. Naprężenia w żadnym fragmencie analizowanej konstrukcji nie osiągają ani nie przekraczają wartości dopuszczalnych.

Wyznaczona siła w zastrzale wynosi 15 kN, naprężenia w zastrzale nie osiągają wartości krytycznych

Przemieszczenia pionowe w konstrukcji wzmocnionej spadają, co potwierdza słuszność wprowadzonej modyfikacji.

Model obliczeniowy MES odpowiadał konstrukcji śmigłowca bez trwałych odkształceń. W przypadku wystąpienia trwałych odkształceń lub luzów w połączeniach nitowych projektowany zastrzał może okazać się bardziej obciążony niż wykazały to wstępne obliczenia. Ponieważ w takim przypadku mogłaby wzrosnąć siła osiowa w zastrzale powyżej wyznaczonej wartości, wspornik powinien posiadać zabezpieczenie konstrukcyjne przed uszkodzeniem pierwotnej konstrukcji płatowca.

Artykuł wpłynął do redakcji 16.02.2006 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w czerwcu 2006 r.

## LITERATURA

- [1] S. KLIMASZEWSKI i in., Sprawozdanie nr 59/31/2003 z pracy *Model globalny śmigłowca Mi-14*, ITWL, Warszawa, 2003.
- [2] A. LESKI, M. KURDELSKI, *Wykorzystanie modelu komputerowego śmigłowca Mi-14 w programie zwiększania resursu jego użytkowania*, Prace Instytutu Lotnictwa 177-178, 2004, 180-184.

- [3] A. LESKI, M. KURDELSKI, E. RACZYŃSKI, R. BARANIECKI, *Model globalny MES śmigłowca ratowniczego*, VIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Programy MES w komputerowym wspomaganiu analizy, projektowania i wytwarzania”, Warszawa-Rynia 15-18.10.2003, CD-ROM z materiałami konferencyjnymi.
- [4] Wspólne przepisy lotnicze JAR 29 „Wiroplaty duże”, poprawka 3, 1 kwietnia 2003.
- [5] *Wstęp do konstrukcji śmigłowców*, red. K. Szablewski, B. Jancelewicz, W. Łucjanek, WKŁ, Warszawa, 2002.

P. SZAMBORSKI, M. KURDELSKI

**Numerical investigations of influence of additional landing gear fastener  
on original navy helicopter structure**

**Abstract.** In this paper, numerical investigations of additional landing gear fastener on the original navy helicopter structure is presented. During the years of helicopters exploitation, their structures got same deformations comparing to the original shape. To prevent further deformation in the area close to the landing gear attachments, additional fasteners have been fixed. Numerical calculations were carried out to prove an idea of critical region strengthening. These calculations were complemented by strain measurements on the real helicopter.

**Keywords:** FEM, structure, strain measurement, navy helicopter

**Universal Decimal Classification:** 623.746.174