

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Łukasza Kiskowiaka
pt.

„Analiza stateczności statycznej i dynamicznej samolotu z wykorzystaniem modeli skalowanych”

wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa WAT z dnia 15.07.2019 roku
na podstawie uchwały Rady Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa WAT z dnia 10.07.2019 roku

Analizy stateczności w lotnictwie są rozwijane od ponad 100 lat, można uznać że pojawiły się już na etapie przygotowywania przez braci Wright ich pierwszego lotu w latach 1901-1903 i budowy samolotu Wright Flyer . Matematyczne metody do obliczeń stateczności w zakresie liniowym pojawiły się już w latach trzydziestych i polegały na analizie równań różniczkowych opisujących lot samolotu. Jednakże wartość analiz matematycznych bardzo zależy od współczynników aerodynamicznych i wartości tzw. pochodnych stateczności i sterowności występujących w tych równaniach. Dlatego temat ten jest wciąż bardzo aktualny i rozwijany w wielu ośrodkach badawczych na świecie. Widzimy również istotny wzrost liczby publikowanych artykułów w czasopismach, materiałach konferencyjnych, monografiach oraz wysoko-nakładowych książkach, poświęconych badaniom stateczności. Nie ma dziś w zasadzie poważnej konferencji lotniczej, na której nie prezentowano by prac poświęconych analizie stateczności samolotu. Wszystko to świadczy o tym, że środowisko naukowe i inżynierskie poświęca ogromny wysiłek na badania poświęcone stateczności i sterowności samolotów, ich optymalizacji, poszukiwaniu rozwiązań innowacyjnych czy niekiedy zrozumieniu zjawisk fizykalnych mających wpływ na nowe technologie mające zastosowanie w tej dziedzinie, ważnej zarówno w sektorze obronnym i w gospodarce cywilnej. Do tej grupy należy zaliczyć rozprawę doktorską Łukasza Kiskowiaka, poświęconą badaniom **stateczności statycznej i dynamicznej samolotu z wykorzystaniem modeli skalowanych**.

Dlatego należy wyrazić uznanie dla doktoranta, że podjął ten trudny i bardzo ważny temat. Szczególnie ważne było skupienie się na wykorzystaniu modeli skalowanych do analiz stateczności, co stworzyło szansę na zastąpienie pewnych wybranych obliczeń numerycznych przez bardziej wiarygodne, choć często droższe testy eksperymentalne. Uważam więc, że temat rozprawy jest aktualny, zarówno z technicznego oraz badawczego punktu widzenia oraz istotny dla szerszego zastosowania zarówno w obronności i w gospodarce cywilnej.

Rozprawa podzielona jest na 10 części, w tym 4 rozdziały główne, Wstęp, Wnioski i Uwagi Końcowe, Wykaz Literatury oraz 3 załączniki z wynikami obliczeń numerycznych i momentami bezwładności. Rozdziały główne poświęcone są (1) Wykorzystaniu modeli skalowanych do analizy stateczności; (2) Wykorzystaniu metod obliczeniowych do analizy stateczności; (3) Numerycznej analizie stateczności dynamicznej samolotu oraz; (4) badaniom z wykorzystaniem modeli skalowanych samolotu. Praca zawiera również wstęp do metod badania stateczności współczesnych konstrukcji lotniczych, analizę tzw. spirali

projektowania, kryteria podobieństwa, skale podobieństwa i opis technologii stosowanych w budowie modeli skalowanych. We wnioskach i uwagach końcowych przeanalizowano zagadnienie zgodności wyników numerycznych z wynikami badań doświadczalnych. Wykaz cytowanej literatury zawiera klasyczne pozycje dotyczące stateczności w lotnictwie oraz wyniki najnowszych badań publikowanych w różnych periodykach. Praca jest zapisana na 251 stronach maszynopisu. W pracy zamieszczono 139 rysunków i fotografii, 71 tablic z danymi oraz 85 wzorów i równań matematycznych. Literatura zawiera 37 pozycji, w tym 3 artykuły i opracowania własne lub współautorskie. Wszystkie pozycje literatury odnoszą się bezpośrednio do zasadniczego tematu rozprawy. 24 pozycje były opracowane po roku 2000, co oznacza że Kandydat śledzi aktualną literaturę dotyczącą zagadnień stateczności. Czytanie pracy nie nastręcza trudności – praca jest napisana dobrym polskim językiem precyzyjnie, wszystkie symbole matematyczne są zdefiniowane.

We Wstępie omówiono znaczenie badań modeli skalowanych samolotów w tunelach aerodynamicznych (co stanowi w pewnym sensie klasykę badań w lotnictwie) oraz znaczenie badań modeli skalowanych w lotach swobodnych, co jest najnowszym podejściem do zagadnienia dynamiki, realizowanym ostatnio w największych firmach lotniczych na świecie, jak Boeing i Airbus.

W Rozdz. 1 zwrócono uwagę na trudności z jednoczesnym spełnieniem wielu kryteriów podobieństwa i podano przykład niemożności zapewnienia jednoczesnego podobieństwa przepływu w sensie liczby Reynoldsa i liczb Freuda. Bardzo słusznie zauważono, że w zależności od celu badań należy dążyć do pełnego podobieństwa albo jednej, albo drugiej liczby kryterialnej. Ponadto w Rozdz. 1 przedstawiono opisy technologii wykorzystywanych do budowy modeli skalowanych, w szczególności przydatnych do lotów swobodnych.

W Rozdz. 2 (Wykorzystanie metod obliczeniowych mechaniki płynów do analizy stateczności statków powietrznych) zaprezentowano wyniki obliczeń numerycznych wykonane z wykorzystaniem modeli RANS i przy użyciu metody objętości skończonych. Wybrano w tym celu pakiet komercyjny ANSYS Fluent, zaprezentowano różne siatki obliczeniowe, wygenerowane odpowiednio do konfiguracji samolotu. Wyniki obliczeń przedstawiono graficznie i porównywano różne typy usterzeń, pływaków i konfiguracji kadłub-skrzydło – wszystko w szerokim zakresie kątów natarcia, od -10° do $+26^\circ$. Bardzo szczegółowo przeanalizowano początki oderwań opływu, co pozwoliło na wspomaganie prac projektowych dla samolotu OSA, niezależnie od ambitnie zdefiniowanego celu rozprawy doktorskiej. Analiza Rozdz. 2 pozwala na potwierdzenie bardzo dużego doświadczenia zawodowego Kandydata w jego działalności inżynierskiej oraz możliwości w posługiwaniu się najnowszymi metodami i pakietami komercyjnymi.

W Rozdz. 3 (Numeryczna analiza stateczności dynamicznej samolotu) przedstawiono analizy równowagi i stateczności dynamicznej samolotu OSA. Obliczenia poprzedzono wyznaczeniem kompletu momentów bezwładności oraz położenia środka masy samolotu. Analizę stateczności wykonano przy pomocy programu STB opracowanego w Politechnice Warszawskiej. Wyznaczono 5 różnych postaci drgań sztywnych w całym zakresie prędkości oraz przedstawiono współczynniki tłumienia i częstości drgań. Dokonano bardzo głębokiej analizy tłumienia i częstości, skorelowanych z gradientem wychylenia steru wysokości. Przeanalizowano również konieczne wychylenia steru wysokości aby się upewnić, czy zakres praktyczny wychylenia steru wysokości wystarczy do zapewnienia równowagi w całym zakresie prędkości. Rozdział 3 świadczy o wysokim profesjonalizmie Autora w badaniu stateczności samolotu.

W Rozdz.4 (Badania z wykorzystaniem modeli skalowanych) przedstawiono wyniki testów w locie swobodnym samolotu OSA, zbudowanego w skali 1:12. Ponadto opisano szczegółowo konstrukcję struktury i technologie wykorzystane do budowy samolotu

skalowanego OSA. Przeprowadzone eksperymenty umożliwiły jakościową analizę dynamiki samolotu OSA. Stwierdzono tendencje do utrzymania stałego kąta natarcia i prędkości lotu co jest zgodne ze skutecznym tłumieniem oscylacji szybkich i fugoidy, potwierdzonym numerycznie w programie STB. W badaniach eksperymentalnych zauważono również pewne niestateczności boczne co także znalazło potwierdzenie numeryczne dla holendrowania i spirali. Stwierdzono istotny wpływ strumienia zaśmigłowego na niesymetrię boczną opływu, co nie zostało uwidocznione w obliczeniach numerycznych z uwagi na brak tego efektu w modelowaniu matematycznym (będącym podstawą do napisania programu STB). Dodatkową zaletą wykorzystania modelu skalowanego w badaniach swobodnych była możliwość badania własności samolotu w korkociągu i jego wyjścia z korkociągu niezamierzonego. Zarejestrowano, że wyjście ze stromego korkociągu jest możliwe po powrocie sterów do położenia neutralnego (zerowego) i po dodaniu mocy. Wyniki uzyskane w locie swobodnym dla modelu skalowanego z jednej strony potwierdziły obliczenia numeryczne wykonane programem STB, a z drugiej strony pozwoliły na przemyślane modyfikacje geometryczne samolotu OSA (zmieniono usterzenie motylkowe na klasyczne oraz zwiększono cechę objętościową usterzenia).

Uważam, że Rozdz.4 jest najbardziej wartościową częścią rozprawy doktorskiej Kandydata i w pełni potwierdza jego aspiracje do ubiegania się o stopień naukowy doktora. Pewien niedosyt budzi brak rejestracji współczynników tłumienia i częstości wszystkich postaci drgań samolotu skalowanego. Ale należy wziąć pod uwagę, że wtedy badania byłyby dużo dłuższe i droższe i że było to w pewnym sensie poza możliwościami finansowymi Uczelni. Sprawa ma się odmiennie w przypadku projektów prowadzonych przez przemysł – wydaje się, że dzisiaj nie można sobie pozwolić na ryzyko niepewności co do własności dynamicznych samolotu seryjnego czy nawet prototypu – badania w locie na modelach skalowanych są dziś absolutną koniecznością.

Wnioski i uwagi końcowe są bardzo cenną próbą podsumowania pracy. Pozwalają na zrozumienie najważniejszych osiągnięć pracy, choć nie mogą jej zastąpić. Czyta się te wnioski z dużym zrozumieniem, ale dopiero po zapoznaniu się z zasadniczymi rozdziałami głównymi pracy.

3 dodatki zawierają wiele cennych charakterystyk aerodynamicznych samolotu: współczynniki aerodynamiczne sił i momentów, wartości bezwzględne sił i momentów w funkcji katów natarcia i ślizgu, wszystko dla różnych konfiguracji ze względu na wyważenia, wychylone lub niewychylone klapy, stery itp. W dodatku 3 jest wiele szczegółów dotyczących głównych elementów samolotu, spadochronu, podwozi itd., zwykle bardzo trudnych do zdobycia.

Nowości naukowe stanowiące oryginalny dorobek doktoranta

Uważam, że oryginalnym dorobkiem doktoranta jest przeanalizowanie problemów technicznych i naukowych badania stateczności samolotu w pełnym cyklu rozwojowym, od projektu koncepcyjnego konfiguracji, poprzez projekt wstępny wspomagany różnymi badaniami aerodynamiki i mechaniki lotu zarówno o charakterze teoretycznym i eksperymentalnym, projekt techniczny struktury, wytworzenie elementów struktury i ich integracja, wykonanie prób funkcjonalnych i prób tunelowych aż po dokonanie krytycznych analiz końcowych. Na szczególne uznanie zasługuje

- opracowanie metodyki pozwalającej wykorzystać skalowane modele samolotów do analiz jego dynamiki, w tym stateczności oraz własności korkociągowych jako dowody mogące mieć znaczenie w procesie certyfikacyjnym oraz,

- porównanie wyników symulacji numerycznych z danymi eksperymentalnymi uzyskanymi przy wykorzystaniu skalowanych modeli samolotów, umiejętność planowania eksperymentów – dowodowych prób statecznościowych, dobór metod badawczych i techniki pomiarowej.

Krytyczna ocena rozprawy

Trudno znaleźć w pracy słabe elementy. Jedyne co mi przychodzi na myśl, to to, że nie przeprowadzono pełnej rejestracji parametrów statecznościowych w locie modelu skalowanego. Ale jak wcześniej wspomniałem trudno z tego robić doktorantowi zarzut, gdyż wtedy istotnie wzrosły by koszty i czas badań.

W pracy nie dostrzegłem też poważniejszych błędów merytorycznych czy metodycznych – praca jest efektem badań poprawnych warsztatowo i zgodnych ze współczesną wiedzą na temat stateczności lotu struktur lotniczych, aerodynamiki, mechaniki lotu, badań doświadczalnych i metod numerycznych.

Wnioski końcowe

W podsumowaniu swojej recenzji stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego badania stateczności struktur lotniczych. Wskazuje jednoznacznie na dobre opanowanie przez autora podstaw mechaniki lotu oraz badań eksperymentalnych struktur lotniczych. Tym samym spełnia wymagania ustawy z dnia 27 lipca 2005 roku „Prawo o Szkolnictwie Wyższym” oraz ustawy z dnia 18 marca 2011 o zmianie ustawy – „Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw”. Wnoszę więc o dopuszczenie mgr inż. Łukasza Kiskowiaka do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.

Wniosek o wyróżnienie pracy

Mając na uwadze nowatorską metodę wspomaganie badań stateczności lotu samolotu za pomocą skalowanych modeli swobodnie latających, opracowaną i wdrożoną przez doktoranta wnoszę do Pana Dziekana i Rady Naukowej Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa WAT o wyróżnienie pracy.



Zdobysław Goraj