Gdańsk 6 lutego 2017

Prof. Janusz Badur
Instytut Maszyn Przepływowych PAN
w Gdańsku

Recenzja
Rozprawy doktorskiej
Pana mgr Tomasz Seredyna pt.
„Weryfikacja formuł matematycznych opisujących proces ruchu kropel rozprzestrzeniających się ze statku powietrznego"

Niniejsza recenzja została wykonana na zlecenie Dyrektora Instytutu Lotnictwa, dr Leszka Lorocha, na podstawie rozprawy przygotowanej przez T. Seredyna, zawierającej 139 stron, wydanej przez Instytut Lotnictwa. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Robert Rowiński z wyższej oficerskiej Szkoły Sił Powietrznych w Dęblinie.

Aktualność problematyki

Nie trzeba przekonywać nikogo o tym, iż agrolotnictwo jest ważnym elementem współczesnej produkcji rolniczej – bez niego nie ma stabilizacji i bezpieczeństwa produkcji oraz jej zrównoważonego rozwoju. Problematyka opryskiwania ze statków powietrznych, ostatnio, dzięki wprowadzeniu bezzałogowych małych statków nabrała nowego znaczenia i rozszerzyła zakres swej działalności do małych obszarów czy nawet planacji i dedykowanym działaniom.

Recenzowana rozprawa, powstała pod kierunkiem promotora, który należy do krajowych liderów w dziedzinie badań zarówno teoretycznych jak i doświadczalnych w zakresie Agrolotnictwa. Prof. Rowiński ma kluczowe osiągnięcia badawcze, jego badania miały wpływ na kształtowanie się tej gałęzi techniki, jest autorem pionierskich opracowań i monografii w tej dziedzinie. Cieszyć może fakt, iż w niemniejszej rozprawie w sposób zdecydowany i odważny sięga się po nowe narzędzia badawcze jakimi są narzędzia obliczeniowe mechaniki płynów (CFD). Mamy tu pozytywne sprężenia zwrotne. Nie tylko bowiem agrolotnictwo coś skorzysta z precyzyjniejszej informacji o lokalnych zjawiskach przebiegających wokół opryskującego samolotu, lecz również wiele impulsów badawczych otrzyma samo narzędzie

numeryczne jakim jest CFD. Każde nowe zadanie i jego pionierskie rozwiązanie wzmacnia naszą wiedzę numeryczną i, w efekcie, stawia nowe wyzwania.

Tak więc, rozwiązywanie przez doktoranta zadanie jest pionierskie w podwójnym sensie. Toteż, przystępując do analizy rozprawy byłem nią zainteresowany zarówno od strony pytania co nowego może ona wnieść do teorii i praktyki agrolotnictwa oraz od strony obliczeniowej: jak CFD podoła sobie z tym ultra-trudnym, miltidyscyplinarnym zadaniem. Wstępne, ubiegłoroczne, wyniki Pana Seredyna znałem z Jego prezentacji na Konferencji Mechaniki Płynów w Słoku. Cieszę się, że w tak krótkim czasie, zdołał przygotować rozprawę. Mam osobiście wielki szacunek do niego i promotora za podjęcie się tak trudnego tematu, pełnego nieznanych przeszkód, ale i być może pełnego nowych zaskakujących odkryć. Tak więc jeszcze nie czytając w szczegółach rozprawy jesteśmy pewni, iż mamy w ręku nowatorską rozprawę, która wymaga badawczej odwagi połączonej z olbrzymim wysiłkiem właściwym dla prac interdyscyploinarnych.

Nie mam wątpliwości, iż podjęty w rozprawie temat i sposób jego rozwiązania jest oryginalnym, ambitnym zadaniem naukowym, spełniającym kryteria ustawowe i zwyczajowe i może być przedmiotem toczącej się w Instytucie Lotnictwa rozprawy doktorskiej.

Teza rozprawy

Teza pracy jest poprawna – i ambitnie ustawiona. Wyraża ją już tytuł rozprawy mówiący, iż „możliwa jest weryfikacja modeli fenomenologicznych" - koncepcja tej weryfikacji opiera się na porównaniu danych doświadczalnych uzyskanych z dwóch eksperymentów polowych wykonanych dwóch statkach powietrznych (helikopter Mi-2R i śmigłowiec PZL Kruk) z obliczeniami i symulacjami wykonanymi w oparciu o kilka modeli. Jest to z metodologicznego punktu widzenia słuszna teza, gdyż taki jest uznany i akceptowany sposób dowodzenia i sprawdzania w naukach technicznych.

Aby być dobrze zrozumianym, doktorant stawiając taką tezę nie twierdzi, iż dotychczas znane z literatury formuły obliczeniowe, np. na wydatek procesu opryskiwania, nie są w jakiś sposób poprawne. Jego weryfikacja nie dotyczy bezpośrednio formuł typu integralnego informującego średnich parametrach istotnych dla dobrze przeprowadzonego procesu; jego weryfikacja dotyczy nieco głębszego poziomu modelowania, który, kolokwialnie, nazywa się poziomem trójwymiarowym 3D. Dopiero mając zweryfikowane pola 3D, poprzez procedury całkowania na powierzchniach sedymentacji kropel możemy określić parametry klasycznych formuł i ewentualnie wnieść do nich nasze poprawki. Inaczej mówiąc, poziom trójwymiarowy, na którym modele mają stosunkowo dużą, liczbę współczynników fenomenologicznych wcale nie jest wolny od konieczności kalibrowania i sprawdzania –owe współczynniki modeli, np., na siłę Basseta, są ustalenie z innych eksperymentów, wykonywanych w innych okolicznościach. Stąd, symulacje CFD, zakończone sukcesem, i potwierdzone przez dedykowany eksperyment, są też upewnieniem się co do poprawności przyjęcia stałych modelu. Podobnie jest w przypadku pionierskich symulacji przeprowadzonych przez mgr Seredyna.

Koncepcja rozprawy

Rozprawa jest, oprócz walorów merytorycznych pomyślana szerzej jako przedstawienie aktualnej problematyki agrolotnictwa. Doktorant i jego promotor bowiem słusznie zakładają iż sytuacja w tej dziedzinie się dynamicznie zmienia i rozprawę trzeba umiejscowić we właściwym tle i wpisać ją w istniejący aktualnie stan wiedzy. Stąd też praca ma **dwa rozdziały wprowadzające** czytelnika w aktualny stan rzeczy: jeden z nich nazywa się „Rozpylanie cieczy" i mówi o podstawowych definicjach fizyki cieczy rozpylanej w powietrzu, oraz o technologiach rozpylania i urządzeniach rozpylających. Urządzenia rozpylające dają warunki brzegowe dla źródeł masy branych do symulacji, takie jak prędkości wtrysku, rozkłady średnic kropel, i ilość kropel.

Następny **rozdział piąty** nosi nazwę ambitną: „agrolotnictwo" i zajmuje 11 stron – jest to oczywiście kompendium, napisane słusznie jako rewizja poglądów starszych na tę branżę. To kompendium pokazuje najlepiej multidyscypinarność zagadnienia i wskazuje czynniki, które trzeba brać pod uwagę w praktyce opylania.

Rozdział szósty nosi nazwę: „Fizyczne czynniki kształtujące dynamikę ruch kropel" i doktorant analizuje w nim poszczególne aspekty ruchu kropel w powietrzu atmosferycznym, rozważa kinetykę kropli, równania jej ruchu, siły działające na kroplę, oraz niebagatelne zagadnienie parowania cieczy zawartej w kropli. W tym miejscu konieczny jest namysł, bowiem kropla miast opaść na wskazane rośliny może, w silnym polu prędkości i temperatury wcześniej odparować, a zawarte w niej niebezpieczne dla organizmu substancje mogą osiąść w miejscach niewskazanych.

Również w tym rozdziale doktorant rozważa pole prędkości powietrza zależne od wiatrów i ukształtowania terenu jak również od przeszkód naturalnych jak i obiektów wzniesionych przez człowieka. Oryginalnym jest podejście uwzględniające pole prędkości za statkiem powietrznym, zależne od sposobu umieszczenia śmigieł nośnych jak i wirami spływowymi skrzydeł znajdującymi się, najczęściej, blisko dysz rozpylających. Słusznie więc doktorant wszystkie te czynniki uwzględnia w równaniach ruchu kropli.

Wszystkie pierwsze sześć rozdziałów mają charakter stopniowego wprowadzania czytelnika w temat i „budowania napięcia" przed, swoiście trudnym **rozdziałem siódmym,** który jest najobszerniejszy oraz merytorycznie kluczowy dla całej rozprawy. Tutaj pojawia się doprecyzowana teza rozprawy i szczegółowe jej cele.

W **podrozdziale 7.3** przedstawiane są owe formuły matematyczne, których weryfikacji podejmuje się doktorant. Są to, przypomnijmy, modele „swobodne" (mało związane z parametrami statku powietrznego) i modele „związane" (uwzględniające prędkość statku i pole zaburzeń prędkości i ciśnień generowane przez opylający statek). Do grupy modeli swobodnych zalicza się: model Bache-Sayera, model Yatesa i Steinke, model Kaula – ten ostatni wydaje się być bardzo szczegółowy jednak dzieje się to kosztem występowania w nim wielu współczynników fenomenologicznych, kalibrowanych na eksperymentach dalece odbiegających od warunków opryskiwania. Oczywiście wierzymy eksperymentatorom, bowiem nie mamy innej możliwości. Jednak gdy podstawiamy, przykładowo lepkość powietrza, pomierzoną na wiskometrze Kestina o średnicy około 20 cm z rzeczywistym ruchem kropli o średnicy 0.2 mm (skala sto razy mniejsza) to ogarniają nas naturalne

wątpliwości i rodzi się pytanie: „czym naprawdę jest lepkość powietrza". Jeśli lepkość to tylko nic innego jak współczynnik w prymitywnym modelu Newtona to możemy na takie uproszczenia się zgodzić. Jednak lepkość powietrza wokół kropelki to wskazanie na pewne lokalne zjawisko, które wcale nie musi być wychwytywane w wiskometrze Kestina.

Do grupy modeli związanych, których opis związany jest z obrazem Lagrange'a, zalicza doktorant model Reeda, model Trayforda-Welcha, model Bragga, oraz dwa modele numerycznie zorientowane normowy model amerykański AGDISP oraz model Pietruszki. Ten ostatni, wyjątkowo szczegółowo odtwarza pole zaburzeń generowane ruchem statku powietrznego.

W **punkcie 7.3.6** doktorant przedstawia model autorski – stawia on ambitne zadanie określenia ruchu mas powietrza za statkiem, który, jest zdaniem doktoranta „bezpośrednim i najważniejszym czynnikiem, zaburzającym swobodną sedymentację kropel w polu ciężkości Ziemi". W swoim modelu doktorant skupia się na „właściwym opisaniu ruchu mas powietrza, które opływa statek i unosi z sobą krople. Dlatego obszar, szczególnie, wokół ale i za samolotem jest areną zdarzeń nas intersujących". W tym punkcie doktorant przedstawia model matematyczny, jaki będzie używał – jest on dedykowany do symulacji numerycznych CFD.

Doktorant dysponuje danymi pomiarowymi dwojakiego rodzaju: dla oprysków przeprowadzonych helikopterem Mi-2 oraz oprysków przeprowadzanych z śmigłowca Turbo-Kruk. Geometrie obu statków zostały zaimplementowane do obszaru obliczeniowego co pozwoliło doktorantowi na uwzględnienie wielu szczegółowych czynników, dotychczas w literaturze nie branych pod uwagę.

Osiągnięcia rozprawy

W szczególności, **wartościowe są dwa osiągnięcia** Doktoranta. Pierwszym jest wzięcie pod uwagę faktu, iż statek powietrzny ma różny stopień załadowania paliwa i środków chemicznych, stąd ma inne parametry lotu – doktorant rozważa skrajne wielkości z maksymalną i minimalnym obciążeniem w bocznym wietrze 5 m/s. Drugim osiągnięciem jest precyzyjne uwzględnienie kierunku wiatrów bocznych pozwalające na określenie ilości zniesionej masy roztworu.

Kluczowym są symulacje numeryczne doktoranta wykonane z dużym znawstwem i szczegółowością. Pomysłowe są również przedstawienia wyników na rysunkach i wykresach. Wyniki syntetyczne, typu: wydajność, są porównywane z danymi pomiarowymi. Lokalne wyniki odnoszące się do prędkości kropli bezpośrednio za statkiem są porównywane z obliczeniami również z wynikami CFD Pietruszki i modelu amerykańskiego. Wszystkie prezentowane wyniki są wysoce oryginalne, niektórzy twórcy krajowego systemu opryskiwania mają tu pierwszą w literaturze okazję zobrazowania skomplikowanego systemu zawirowania powietrza za statkiem powietrznym. Ten wynik zasługuje na szersze rozpropagowanie w prasie krajowej. Doktorant z zapałem dyskutuje swe wyniki, porównując je z innymi wynikami – cennym jest tu kontynuacja doświadczeń wyniesionych z doktoratu Pietruszki. Doktorant tym samym realizuje postulat „zazębienia z sobą" innych wyników naukowych i potrzeb rolnictwa. Jest to cenna postawa na tle panującej w kraju doktryny

„Każdy sobie rzepkę skrobie". Przykładowo na rys. 7.31 porównuje model własny, z modelem Pietruszki i modelem AGDISP co jest samo w sobie wynikiem wartościowym.

Rozdział zatytułowany: „Analiza modeli samolotów o różnej masie całkowitej z wiatrem bocznym" jest ukoronowaniem analiz przeprowadzonych przez doktoranta. Zasługuje on na publikację w najlepszych europejskich czasopismach. Jeśli doktorant i jego promotor jeszcze tego nie uczynili, to gorąco ich zachęcam. Doktorant ma świadomość, że prezentuje tu wyniki które są bezwzględnie pierwsze w literaturze i nie ma możliwości porównać ich poprawności z nikim innym – to ważna chwila w życiu uczonego, kiedy czuje, że prezentuje wyniki pionierskie – wtedy dojrzewa w badaczu „odpowiedzialność".

Uwagi i komentarze

W przypadku klasycznej tematyki rozprawy, zwykle recenzent ma krytyczne uwagi, oraz wskazówki jak niektóre rzeczy można by zrobić lepiej. Ale co ma robić recenzent, który jest zachwycony rozprawą i wagę przykłada tylko do „pionierskich wyników". Podziwiać należy odwagę badawczą Doktoranta Pana Seredyna i odwagę Jego promotora prof. Rowińskiego. Szczerze się przyznam, że chociaż sam jestem promotorem około 40 doktoratów, nie mam podobnego w skali multidyscyplinarnej trudności doktoratu. To usprawiedliwia mój entuzjazm i zapał z jakim przestudiowałem rozprawę. Zaczynam wierzyć, że nauka polska jeszcze nie zginęła.

Zachęcam doktoranta i promotora do publikowania – można by wtedy pokazać większy związek prezentowanych tu wyników z fenomenologicznymi formułami używanymi na co dzień podczas przeprowadzania oprysków. Można by też pokazać jak scałkowuje się lokalne wyniki aby uzyskać wynik integralny „inżynierski" – niewypisanie tego związku, niepotrzebnie sugeruje postronnemu czytelnikowi iż istnieje jakaś „przepaść" czy „przerwa" miedzy dotychczasową wiedzą inżynierską a wiedzą płynącą z badań 3D. Takiej przerwy nie ma bowiem mając wyniki w 3D po wycałkowaniu otrzymujemy klasyczne formuły inżynierskie tyle że z poprawianymi współczynnikami. Korekcja tych współczynników to temat na inny grant badawczy.

Wniosek dla Rady Naukowej Instytutu Lotnictwa

Uważam, że rozprawa Pana mgr Tomasza Seredyna jest przełomowa i otwiera przez agrolotnictwem nowe perspektywy. Najważniejsza to perspektywa oprysków ze statków bezzałogowych. Tutaj nie można się opierać na intuicji pilota i tym co widzi – potrzebne jest nowe podejście do zagadnienia i nowe narzędzia badawcze – naprzeciw temu wyzwaniu wychodzi Doktorant. Pojawia się szansa na opryski dedykowane np. nad sadem wykonywane za pomocą dronów.

Doktorant podjął się trudnego multidiscyplinarengo zagadnienia badawczego i rozwiązał go w sposób oryginalny za pomocą nowoczesnych narzędzi badawczych. Ilość prac numerycznych jakie wykonał spełnia wymogi rozpraw doktorskich z nadmiarem. Postawił jasną tezę rozprawy i udowodnił ją przez porównanie kilku wybranych przez siebie formuł obliczeniowych. Posiadł tym samym wiedzę o współczesnych problemach modelowania numerycznego oraz przesłanki co do dalszego rozwijania i poprawiania modelu. Doktorant wykazał, że na bazie materiału badawczego potrafi wnioskować i wyprowadzać bogate

wnioski. Ma naturalny talent do przekładania wyników 3D na język zagadnień inżynierskich. Doktorant posiadł w miarę kompletną wiedzę w swojej branży i jest dojrzałym jej profesjonalistą. Spełnia, moim zdaniem, ustawowe i zwyczajowe kryteria stawiane rozprawom doktorskim. Mam też odczucie, iż Tadeusz Seredyn jest badaczem dojrzałym, potrafiącym wziąć „odpowiedzialność" za wyniki swojej pracy.

W związku z powyższym, wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Lotnictwa o dopuszczenie rozprawy doktorskiej pana Tomasza Seredyna do publicznej obrony. Jednocześnie, mając w pamięci również prezentację części rozprawy na Konferencji Mechaniki Płynów w Słoku 2016r [w dobrym języku angielskim], oraz całość rozprawy, występuję o jej wyróżnienie (cum laude). Uważam, że wyróżniającym wynikiem rozprawy Pana Seredyna jest jego twórczy wkład do modelowania 3D zjawisk oprysków ze statków powietrznych i zaawansowana adaptacja multidyscyplinarnego modelu numerycznego do rzeczywistego problemu.