



INSTYTUT NAWIGACJI

dr hab. inż. Janusz Ćwiklak, prof. LAW
Dyrektor Instytutu Nawigacji
Lotnicza Akademia Wojskowa



Dęblin, dn. 05.09.2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Piotra Andrzeja Dmochowskiego
pt. „**Płynność ruchu lotniczego w obszarowym sektorze kontroli**”
wykonanej pod opieką naukową:

prof. dr. hab. inż. Jacka Skorupskiego – promotora,
wykonana na zlecenie Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej, umowa nr 1160/00126/2022 z 20.06.2022.

1. Wprowadzenie

Bezpieczeństwo ruchu lotniczego jest kluczową problematyką występującą w transporcie lotniczym. Jednym z atrybutów bezpieczeństwa jest efektywne zarządzanie ruchem lotniczym. Dlatego, zasadne jest prowadzenie badań zmierzające do poprawy płynności ruchu lotniczego, która ma bezpośredni związek z optymalnym wykorzystaniem przestrzeni powietrznej oraz zrównoważonym obciążeniem pracą kontrolerów ruchu lotniczego. Potwierdzeniem zasadności badań jest również niedostatek publikacji zarówno krajowych, jak i o zasięgu międzynarodowym zwierających przedmiotową problematykę płynności ruchu lotniczego.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że podjęta przez Autora problematyka rozprawy dotycząca różnych aspektów zarządzania ruchem lotniczym jest aktualna i uzasadniona zarówno pod względem naukowym, jak i aplikacyjnym. Jednym z efektów dysertacji mogą być korzyści ekonomiczne i organizacyjne wykorzystania opracowanej aplikacji w Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej w celu poprawy efektywności wykorzystania przestrzeni powietrznej, równomiernego obciążenia pracą kontrolerów ruchu lotniczego, co z pewnością wpłynie korzystnie na poprawę bezpieczeństwa transportu lotniczego. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na aspekt ekonomiczny i ekologiczny, mianowicie poprawa płynności ruchu lotniczego limituje konieczność stosowania procedur oczekiwania, a więc powoduje mniejsze zużycie paliwa. Zatem, temat recenzowanej dysertacji został właściwie sformułowany, jest aktualny i wpisujący się w oczekiwania instytucji związanych z systemem zarządzania ruchem lotniczym.

2. Omówienie treści rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest opracowaniem jednotomowym, składającym się ze wstępu, 7 rozdziałów i bibliografii. Całość liczy 171 stron, jest uzupełniona wykazem akronimów oraz wykazem ważniejszych oznaczeń.

Zasadnicza treść zawarta jest w siedmiu rozdziałach zawierających zarówno wprowadzenie, jak i wnioski podsumowujące. W opracowaniu zamieszczono 46 rysunków, 27 tabel oraz 53 ponumerowanych wzorów matematycznych. W rozprawie autor odwołał się do 136 pozycji bibliografii. Obejmuje ona 11 opracowań Autora, 133 pozycji książkowych i artykułów (81 publikacji autorów zagranicznych) oraz 3 źródła internetowe, w tym 32 instrukcje, raporty, rozporządzenia oraz inne dokumenty normatywne. 42 pozycje zostały opublikowane w ciągu ostatnich pięciu lat. Wszystkie pozycje bibliografii zostały poprawnie cytowane w treści rozprawy.

Na początku dysertacji Autor zawarł spis akronimów, oznaczeń oraz podstawowych pojęć i definicji. Z pewnością jest to uzasadnione i płynnie wprowadza czytelnika w problematykę pracy. Nie mniej jednak autor posługuje się często terminem samolot zamiast statek powietrzny. Ponadto, rozwinięcie niektórych skrótów w języku angielskim jest w liczbie pojedynczej, natomiast w języku polskim w liczbie mnogiej lub odwrotnie.

Wprowadzenie odnosi się do przedmiotu badań i przedstawia istotę tematu dysertacji. Autor syntetycznie zaprezentował podział przestrzeni powietrznej w Polsce, zadania oraz specyfikę pracy kontrolerów ruchu lotniczego. Następnie poruszył problematykę przepływu ruchu lotniczego oraz jego płynności w aspekcie analizy przedmiotu badań, podkreślając możliwości wykorzystania pojęcia płynności ruchu lotniczego jako syntetycznego wskaźnika użytecznego w operacyjnym zarządzaniu przepływem ruchu lotniczego. Rozdział ten jest bogato ilustrowany, co pozwala czytelnikowi łatwiej zrozumieć problematykę badań.

Uwagi.

Wprowadzenie w specyfikę dysertacji zostało zaprezentowane w sposób właściwy. Nie mniej jednak mam wątpliwości do niektórych sformułowań zarówno pod względem językowym, jak i merytorycznym. Uwagi te zawarte są w uwagach do rozprawy na stronie 9. Ponadto, analizując Wprowadzenie ma się odczucie, że zabrakło

w nim określenia zakresu pracy. Przeważnie studiując Wprowadzenie staramy się uzyskać odpowiedź jakie zagadnienia zawierają poszczególne rozdziały oraz znaleźć ich krótką charakterystykę.

W rozdziale drugim przeprowadzono analizę krytyczną piśmiennictwa, w którym odniesiono się do publikacji prezentujących problematykę przedmiotu badań, zarówno zawartą w różnego rodzaju dokumentach normatywnych krajowych i międzynarodowych oraz artykułach i wydawnictwach zwartych. Przedstawiony przegląd literatury w ujęciu ogólnym jest odpowiedni do problematyki rozprawy. Na podkreślenie zasługuje oparcie opracowania w większości na literaturze zagranicznej oraz około 30 % stanowią publikacje z ostatnich pięciu lat. Przedstawiona analiza piśmiennictwa pozwoliła Doktorantowi na określenie sytuacji problemowej, na tle której zostały sprecyzowane dwa problem badawcze, których rozwiązania podjął się Doktorant w niniejszej rozprawie.

Ponadto, w drugim rozdziale określono cel główny rozprawy, tezę oraz plan przeprowadzonych badań. Cel badań został sformułowany jako *„Opracowanie metody oceny płynności ruchu lotniczego umożliwiającej sterowanie przepustowością przestrzeni powietrznej za pomocą odpowiedniego kształtowania strumieni ruchu lotniczego uwzględniającego zajętość kontrolerów ruchu lotniczego”*. Natomiast teza rozprawy brzmi następująco *„Metoda sterowania przepływem ruchu lotniczego w przestrzeni powietrznej, polegająca na sterowaniu płynnością, pozwala na operacyjne balansowanie przepustowości takiej przestrzeni”*. Zadania badawcze obejmowały opracowanie modeli sektora obszaru, ruchu lotniczego w sektorze oraz jego kontroli, ich implementacji do programu specjalistycznego celem analizy uzyskanych wyników dotyczących płynności ruchu lotniczego. Niniejsze zadania zostały przedstawione w postaci planu badań.

Uwagi.

Analizując treść rozdziału, uważam, że Doktorant dysponuje bogatą wiedzą i doświadczeniem zdobytym w pracy zawodowej jako kontroler ruchu lotniczego odnoszącą się do metod i narzędzi zarządzania przepływem ruchu lotniczego. Ponadto, Autor wykazał istotne znaczenie problematyki płynności ruchu lotniczego w zarządzaniu przepływem ruchu lotniczego i jednocześnie niedostatek występowania tej tematyki w piśmiennictwie. Generalnie, rozważania Autora mają odniesienie do odpowiednich pozycji zawartych w bibliografii. Jedynie zabrakło mi cytowania źródła informacji pre-

zentowanych na str. 49 związanych z zastosowaniem satelitarnych systemów nawigacyjnych w ogólności w lotnictwie. Ponadto jest błędnie cytowana pozycja [40], powinna być [41].

W mojej ocenie przedmiot i cel badań określono poprawnie w aspekcie prezentowanej analizy sytuacji problemowej. Odnosząc się do tezy pracy uważam, że jest ona postawiona odpowiednio w aspekcie celu i zakresu pracy. Natomiast problem dotyczący integracji celów różnych uczestników poprzez wykorzystanie kryterium oceny jego płynności budzi moje wątpliwości co do jego właściwego sformułowania w świetle zaproponowanych rozwiązań. Ponadto, trudno znaleźć w pracy jego rozwiązanie.

W rozdziale trzecim zostały przedstawione autorskie modele matematyczne sektora obszaru, ruchu lotniczego i kontroli tegoż ruchu. W treści rozdziału uwzględniono prezentację założeń tworzenia kolejnych modeli, wyrażenia matematyczne służące wyznaczaniu podstawowych parametrów, część materiału została zaprezentowana w postaci tabel, schematów i algorytmów. Ostatni z wymienionych modeli służy oszacowaniu poziomu obciążenia pracą kontrolera obszaru. Odwzorowuje on ruch lotniczy i działania kontrolera uwzględniając zdarzenia elementarne, które występują w ruchu lotniczym. Zdarzeniom tym przypisane są określone czasy. Sumowanie czasów wystąpienia tych zdarzeń umożliwia oszacowanie obciążenia pracą kontrolera obszaru.

Uwagi.

W rozdziale tym zawarto szereg wzorów i wyrażeń matematycznych, służących do modelowania prezentowanych obiektów i procesów. Jednak brak jest informacji czy są to wzory autorskie, a jeśli pochodzą z innych źródeł to Autor nie przedstawił odniesień do odpowiednich pozycji w bibliografii.

W czwartym rozdziale opisano narzędzia badawcze służące do implementacji modeli kontroli ruchu lotniczego. W tym celu Doktorant z powodzeniem wykorzystał oprogramowanie komputerowe CPN Tools, które umożliwia połączenie graficznego edytora sieci, symulacji oraz daje możliwość analizy stanów w przestrzeni. CPN Tools pozwala również tworzyć hierarchiczną sieć z wieloma mechanizmami synchronizacji elementów hierarchii. Jak podaje Autor CPN zapewnia właściwe narzędzie, które pozwala w łatwy sposób uwzględnić zarówno dynamiczną naturę zdarzeń, jak i statyczne warunki logiczne. Następnie w rozdziale przedstawiono, opracowaną przez autora, hierarchiczną sieć Petriego składającą się z dziesięciu tzw. stron. Każda strona przypisana jest poszczególnym zdarzeniom występującym w ruchu, obejmującym również

modelowanie dynamiki ruchu statku powietrznego oraz wprowadzenie początkowych i końcowych parametrów symulacji.

Istotnym elementem tego rozdziału jest weryfikacja poprawności działania opracowanych modeli oraz narzędzia symulacji. Do weryfikacji użyto bogate doświadczenie Doktoranta zdobyte w pracy zawodowej oraz na podstawie bezpośredniego udziału w projektach badawczych poświęconych oszacowaniu przepustowości polskiej przestrzeni powietrznej. Ponadto Doktorant wykorzystał wiedzę i doświadczenie innych ekspertów i specjalistów zajmujących się profesjonalnie problematyką zarządzania ruchem lotniczym, w szczególności przepływem ruchu lotniczego. Weryfikacja przyjętych założeń polegała również na porównaniu wyników badań Autora z wynikami osiągniętymi podczas projektu CAPAN. Analizując prezentowane wyniki w tabelach 7-14 należy podkreślić że występuje korelacja pomiędzy danymi pomiarowymi, danymi uzyskanymi w projekcie CAPAN i Autora. Tym samym założenia przyjęte do opracowania modeli oraz budowy sieci Petriego zostały określone poprawnie.

Uwagi:

Autor mógł zawrzeć więcej informacji odnośnie swojego wkładu pracy w tworzenie narzędzia badawczego. Brak jest informacji czy wykorzystywany program został opracowany przez Autora, czy tylko zaadoptowany, dostosowany do potrzeb badań.

Rozdział piąty poświęcono zagadnieniu płynności ruchu lotniczego oraz metodzie jego szacowania. W świetle tytułu dysertacji rozdział ten należy uznać za główny, prezentujący oryginalne osiągnięcie Autora w postaci opracowanej metody szacowania płynności ruchu lotniczego. Na początku rozdziału Doktorant zdefiniował pojęcie wielkości ruchu lotniczego, odnosząc się do intensywności zgłoszeń oraz natężenia ruchu. Następnie przedstawił opis matematyczny tej zmiennej, istotnej dla oszacowania płynności. Płynność ruchu została zdefiniowana jako taki ruch, którego parametry lotu są zgodne z planowanymi (nie podlegają zakłóceniom), a jeśli nie, to dążą one do wartości korzystnych. W takiej sytuacji jest zasadne określenie miary płynności jako stosunku lotów niezakłóconych do ogólnej liczby lotów.

Następnie opisano poszczególne etapy badania płynności w sektorze kontroli oraz wyspecyfikowano przyjęte założenia do przedmiotowego badania. Opis metody wyznaczania płynności ruchu został podzielony na trzy fazy. Odzwierciedlają one trzy etapy (ewolucję) prac badawczych odnoszącą się do wykorzystywanych narzędzi przy stałym podejściu do samej metody badawczej. Etapom odpowiadają moduły liczące, które zostały oparte na poprawnie określonym aparacie matematycznym. Obliczanie

wartości płynności ruchu lotniczego odbywa się za pomocą wzorów (50-53) i jest rozpatrywane w płaszczyźnie poziomej, pionowej oraz w czasie poszczególnych lotów. Ponadto zagregowano wymienione parametry w jeden traktujący płynność jako jeden wskaźnik.

Uwagi:

Podobnie jak w rozdziale trzecim brak informacji na temat autora wyrażeń matematycznych (odniesienia do bibliografii). Jak wynika ze wzoru (38) można wnioskować, że płynność może przybierać wartości od zera do jedności. Jednak w dalszej części rozprawy występują wartości od zera do stu. Można się domyślać, że są to wartości wyrażone w procentach, aczkolwiek brak informacji na ten temat. Autor przyjął różne oznaczenia płynność (F, P) co utrudnia śledzenie wywodu. Ponadto, na zakończenie rozdziału brak jest wniosków podsumowujących. Autor zostawia czytelnika na etapie prezentacji wzorów bez komentarza.

W rozdziale szóstym zaprezentowano opis oraz wyniki przeprowadzonych autorskich eksperymentów, których celem było określenie płynności ruchu. Dla sprawdzenia działania metody szacowania płynności ruchu lotniczego dokonano pomiarów rzeczywistego ruchu lotniczego w kilku sektorach obszarowych FIR Warszawa. W badaniu uwzględniono zarówno plany lotów, ich bieżącą realizację oraz tzw. korzystne plany lotów odpowiadające np. „skrótom” łączącym bezpośrednio punkt wlotowy i wylotowy sektora. W wyniku eksperymentu określono płynność ruchu w zależności od jego natężenia. Jak podaje Autor do obliczeń natężenia wykorzystano autorskie wzory 39 i 40 prezentowane na stronie 131. Na podstawie uzyskanych wyników Doktorant twierdzi, że istnieje zależność między natężeniem ruchu w sektorze, a płynnością ruchu. Dla małego natężenia płynność ruchu jest największa. Dla większego natężenia ruchu płynność ruchu jest nieznacznie mniejsza. Analiza zależności liczbowych pomiędzy płynnością ruchu lotniczego, a natężeniem ruchu jest wyraźnie widoczna.

Wyniki eksperymentów wykazały również możliwość wykorzystania płynności do określenia przepustowości sektorów, co może być wykorzystane do wspomagania zarządzania przepływem ruchu lotniczego. Potwierdziły również zależność między intensywnością strumienia zgłoszeń samolotów, a poziomem obciążenia pracą kontrolera i pozwoliły określić poziom ten w sposób ilościowy. Dodatkowo, stwierdzono, że gęstość siatki aktywnych i nieaktywnych punktów przestrzeni powietrznej nie jest kluczową wartością dla dokładności wyników. Używanie bardzo gęstej siatki wydaje się bezużyteczne i nie przynosi żadnej poprawy dokładności, a jedynie znacznie zwiększa

złożoność obliczeniową. Dalsza część rozdziału dotyczy wpływu obciążenia pracą kontrolerów na płynność ruchu. Doktorant wykazał, że utrzymywanie ruchu zgodnie z wcześniej ustalonymi planami lotów zmniejsza obciążenie pracą kontrolera, a udzielanie zezwoleń na loty po prostej „skrót”, chociaż korzystne dla ekonomiki lotu, zwiększa jednak obciążenie pracą kontrolera.

Uwagi:

Należy podkreślić, że autorskie rozwiązanie przetestowano na rzeczywistych danych uzyskanych w trakcie przeprowadzonego eksperymentu. Moje uwagi dotyczą zastosowanych wzorów 50-53. We wzorze 51 następuje mnożenie przez 0.3 w mianowniku, natomiast we wzorze 52 przez 0.1. We wzorze 53 od łącznej płynności jest odejmowane 200. W mojej opinii Autor powinien zinterpretować zastosowane wzory matematyczne.

W rozdziale siódmym zawarto wnioski podsumowujące, obejmujące ocenę rozwiązania problemu badawczego, najważniejsze osiągnięcia autora wynikające z toku pracy oraz perspektywy kontynuacji dalszych prac badawczych związanych z przedmiotem badań.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

W mojej ocenie podjęcie prowadzenia badań w obszarze sterowania przepływem ruchu lotniczego w aspekcie jego płynności uwzględniającej poziom obciążenia pracą kontrolerów ruchu lotniczego jest jak najbardziej aktualne i uzasadnione. Implementacja opracowanej metody do działalności operacyjnej w sektorach kontroli ruchu lotniczego z pewnością będzie sprzyjała wzrostowi bezpieczeństwa ruchu lotniczego oraz jego efektywności. Recenzowana dysertacja nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki związanej ze sterowaniem przepływem ruchu lotniczego, wnosząc do nich nowe treści.

Przyjęty przez dyplomanta cel pracy, jej zakres został sformułowany poprawnie, zarówno pod względem merytorycznym, jak i proponowanych rozwiązań. Z punktu widzenia określonych celów zastosowane narzędzia i metody badawcze są adekwatne do przyjętych założeń. Bogaty materiał empiryczny został wykorzystany w sposób właściwy. Zastosowany aparat matematyczny, wspierający modelowanie ruchu lotniczego, obiektów i procesów istotnych dla osiągnięcia celu rozprawy jest co prawda podstawowy, ale adekwatny do zakresu rozprawy. Z przedstawionej powyżej charakterystyki poszczególnych rozdziałów pracy wynika, iż rozprawa cechuje się pewnymi elementami oryginalności. Treści ocenianej rozprawy są zgodne ze spisem treści,

oznaczeniami i kolejnymi rozdziałami, które są w większości poprawnie nazwane i dają obraz wiedzy w nich zawartej. Rozdziały te są logicznie ułożone z dobrym, spełniającym zasadę wynikania, powiązaniem ich treści.

Doktorant zrealizował cel dysertacji opracowując metodę wyznaczania płynności ruchu lotniczego uwzględniającej obciążenie pracą kontrolerów ruchu lotniczego. Do wyznaczania płynności ruchu lotniczego zaadoptował narzędzie w postaci oprogramowania komputerowego. Rozwiązał problem naukowy, określając związek pomiędzy płynnością a przepustowością sektorów obszaru. Dokonał weryfikacji przyjętych założeń w oparciu o rzeczywiste dane historyczne archiwizowane przez służby kontroli ruchu lotniczego. Biorąc powyższe wnioski pod uwagę uważam, że teza postawiona w pracy została udowodniona.

Oprócz wartości poznawczych, naukowych przejawiających się w szczególności w przeprowadzonej szeroko rozumianej analizie krytycznej przepływu ruchu lotniczego, jego poszczególnych aspektów, praca ma charakter użyteczny o dużym potencjale aplikacyjnym. Autorska metoda Pana Magistra Piotra Dmochowskiego doskonale wpisuje się w wymogi zapewnienia odpowiedniego poziomu płynności ruchu lotniczego. Jej stosowanie może znacznie zwiększyć przepustowość sektorów kontroli ruchu lotniczego, a także wpływać na równomierne obciążenie pracą kontrolerów. Dlatego, należy rozważyć implementację opracowanej przez Doktoranta metody do działalności operacyjnej służb ruchu lotniczego w celu wspomagania procesu zarządzania przepływem ruchu lotniczego. Na podkreślenie zasługuje bogata ikonografia zawarta w rozprawie, która czyni pracę bardziej przyciągającą i zrozumiałą dla czytelnika.

Reasumując, oryginalne osiągnięcie naukowe Pana mgr. inż. Piotra Dmochowskiego polega w głównej mierze na opracowaniu autorskiej metody szacowania płynności ruchu lotniczego. Równie istotnym osiągnięciem poznawczym Autora jest przeprowadzenie wnikliwej analizy problematyki zarządzania przepływem ruchu lotniczego. Ponadto z analizy treści rozprawy wynika że, Doktorant zdobył profesjonalne umiejętności akwizycji i analizy danych empirycznych, uzyskane w znacznej mierze w trakcie wykonywanej pracy zawodowej kontrolera ruchu lotniczego. Należy podkreślić, że Doktorant profesjonalnie porusza się w środowisku informatycznym dotyczącym przedmiotowej problematyki, co niestety nie jest powszechną cechą w obecnych czasach.

Powyższe uwagi są przesłanką do stwierdzenia, że Doktorant zdobył kompetencje do samodzielnej pracy naukowej.

Do najważniejszych rezultatów pracy zawierających potencjał nowości zaliczam:

- opracowanie oryginalnej metody wyznaczania płynności ruchu lotniczego umożliwiającej sterowanie przepustowością przestrzeni powietrznej za pomocą odpowiedniego kształtowania strumieni ruchu lotniczego;
- uwzględnienie poziomu obciążenia pracą kontrolerów ruchu lotniczego w autorskiej metodzie wyznaczania płynności ruchu lotniczego;
- opracowanie modeli matematycznych sektora ruchu lotniczego, ruchu w sektorze oraz kontroli tego ruchu;
- wykonanie autorskich badań eksperymentalnych w środowisku programistycznym CPN w oparciu o implementację opracowanych modeli, bazując na rzeczywistych danych ruchu lotniczego z wybranych sektorów;
- opracowanie szczegółowej analizy i krytyki obecnych rozwiązań w zakresie problematyki zarządzania ruchem lotniczym;
- weryfikację przyjętych rozwiązań w oparciu o wyniki uzyskane z autorskich eksperymentów.

4. Uwagi do rozprawy

Poza przedstawionymi ewidentnymi, pozytywnymi cechami dysertacji należy zwrócić uwagę, że praca posiada pewne mankamenty i niedoskonałości. Studiując rozprawę można odnieść wrażenie nadmiernej wielowątkowości zawierającej problematykę przedmiotu badań. W mojej ocenie, taka struktura praca powoduje rozpraszenie myśli czytelnika w kontekście śledzenia nurtu głównego tzn. treści odnoszących się do realizacji celu pracy, udowodnieniu tezy rozprawy oraz rozwiązaniu problemu badawczego.

Ponadto, w dysertacji brak jest dyskusji, to jest odniesienia, porównania osiągniętych wyników z wynikami innych autorów. Na tej podstawie istniała by możliwość określenia ewidentnych zalet autorskiej metody szacowania płynności ruchu lotniczego na tle innych autorów. Autor w rozprawie zamiennie posługuje się kilkoma określeniami bliskoznacznymi w odniesieniu do autorskiej metody płynności ruchu lotniczego. Używa określenia „*metoda szacowania płynności...*”, „*metoda wyznaczania płynności...*” oraz „*metoda oceny płynności...*”. Pierwsze dwa określenia występują sporadycznie w opracowaniu, natomiast ostania „*metoda oceny płynności...*” występuje najczęściej, wliczając użycie tego określenia w tytułach rozdziałów czy podrozdziałów.

W mojej ocenie, pierwsze dwa określenia są bardziej odpowiednie niż ta preferowana przez Autora.

Kolejna problematyczna sytuacja dotyczy wyrażenia „*zajętość kontrolera*”, określenie to dominuje w treści rozprawy. Co prawda, czasem Autor używa, w mojej opinii poprawnego wyrażenia, jakim jest „*obciążenie pracą kontrolera*”. Słownik języka polskiego określa zajętość w stosunku do przedmiotu, nie znalazłem takiego określenia w stosunku do osoby. Ponadto, studiując źródła anglojęzyczne, nie znalazłem określenia „*occupancy*” w stosunku do kontrolera, tylko „*workload*”. Sądzę, że Doktorant powinien na przyszłość rozważyć moje sugestie.

Ogólnie praca jest napisana w większości językiem zrozumiałym, czytelnym. Jednakże niektóre wyrażenia są formułowane niezręcznie. Na przykład na stronie 15. „... w zakresie wysokości od nieco poniżej 3000 m...”. również na tej stronie Autor stosuje raczej żargonowe określenie operacji związanych z odlotem czy podejściem do lądowania jako „*ruch wznoszący oraz ruch zniżający*”. Na stronie 37 niezrozumiałe jest zdanie dotyczące postawienia hipotezy badawczej. „...że *balansowanie, ale płynnością powinno mieć korzystny wpływ na efektywne wykorzystanie przepustowości sektorów obszaru*”. Natomiast Doktorant nic nie wspomina na temat postawionej hipotezy w dalszej części Dysertacji. Wydaje się, że być może to tylko wtrącona myśl Autora, która nie znalazła się w rozdziale drugim zawierającym tezę, a nie hipotezę.

Ponadto w zdaniu „*Chodzi zatem o to, by udowodnić, że możliwe jest dokonanie ilościowej oceny różnych organizacji ruchu lotniczego i przestrzeni powietrznej pod kątem płynności, a w konsekwencji pokazać, że możliwe jest zrównoważenie i zbalansowanie przepustowości sektorów, poprzez oddziaływanie na ruch w taki sposób aby uzyskać jego zamierzoną płynność*”, trudno zrozumieć o jaką ilościową ocenę różnych organizacji ruchu chodzi.

Brak konsekwencji w oznaczeniach we wzorach, te same litery oznaczają co innego w różnych wzorach.

Ikonograficzna strona dysertacji w zasadzie nie budzi moich zastrzeżeń. Wykresy, rysunki, schematy zostały opracowane w większości starannie, są czytelne i zrozumiałe, może poza rys. 2, 12, 14, które są mało czytelne oraz brak opisu osi, wartości i jednostek na rys. 40, 41, 43.

Autor nie ustrzegł się błędów językowych, gramatycznych, interpunkcyjnych, edytorskich. Zauważone, ewidentne błędy zaznaczyłem w pracy i przekaże je Doktorantowi. Na przykład na stronie 15, niefortunne określenie „piszący te słowa”, powinno być raczej „Autor rozprawy”

Biorąc powyższe pod uwagę, ma się wrażenie pewnego chaosu pojęciowego związanego z opisem takich pojęć jak wielkość ruchu lotniczego, jego jakość, wydajność, złożoność, zajętość kontrolera. W mojej ocenie Autor powinien na początku rozprawy zdefiniować wymienione terminy, co z pewnością wpłynęłoby korzystnie na całość wywodu myślowego.

Bibliografia zamieszczona w rozprawie jest dobrana odpowiednio do tematu i zakresu poruszanych problemów, aczkolwiek w rozprawie Autor mógł wyraźniej odnieść się do publikacji bezpośrednio związanej z płynnością ruchu lotniczego.

Wymienione niedociągnięcia nie mają zasadniczego wpływu na wartość merytoryczną rozprawy, jednak sądzę, że Doktorant powinien wziąć je pod uwagę celem wyciągnięcia wniosków na przyszłość i uporządkować aparat pojęciowy związany z problematyką zawartą w pracy.

5. Pytania do Autora

1. W rozprawie można spotkać wiele pojęć bez ich definiowania. Czy Autor może wyjaśnić znaczenie następujących terminów użytych w pracy: wydajność ruchu lotniczego, jakość ruchu lotniczego, wystarczająca dokładność?
2. W rozdziale trzecim zostały przedstawione autorskie modele matematyczne sektora obszaru, ruchu lotniczego i procesu kontroli tegoż ruchu. W treści rozdziału uwzględniono prezentację założeń tworzenia kolejnych modeli, wyrażenia matematyczne służące wyznaczaniu podstawowych parametrów, część materiału została zaprezentowana w postaci tabel, schematów i algorytmów. Czy modele autorskie uwzględniają warunki brzegowe, jeśli tak to jakie?
3. Na stronie 120 Autor wymienia dwuwartościowe i wielowartościowe wymiarowanie płynności ruchu lotniczego, nie wyjaśniając tego zróżnicowania. Na czym polega dwuwartościowe i wielowartościowe wymiarowanie płynności ruchu lotniczego?
4. W celu obliczeń płynności ruchu lotniczego Autor posługuje się wieloma wzorami, stosując różne oznaczenia płynności (38, 39, 40, 50-53). Czy Autor

mógłby wyjaśnić swoje podejście do tej kwestii? Ponadto proszę o interpretację wzorów 50-53.

5. Na stronie 145 i 146 Doktorant opisuje ocenę możliwości implementacji autorskiej metody do operacyjnego zarządzania ruchem lotniczym. Analizując treści tego podrozdziału trudno jednoznacznie zrozumieć na czym ta implementacja miałaby polegać. W jaki sposób opracowana metoda szacowania płynności ruchu lotniczego może być zaimplementowana do działalności operacyjnej?
6. Czy w opracowanej metodzie Autor przewidział jej ograniczenia, niedoskonałości w aspekcie funkcjonalności?

6. Wniosek końcowy

W podsumowaniu należy stwierdzić, że treść i struktura dysertacji, użyte do badań metody, osiągnięte wyniki wskazują, że Doktorant osiągnął odpowiedni poziom wiedzy i warsztatu badawczego w zakresie dyscypliny inżynierii lądowej i transportu. Zawartość rozprawy świadczy o wystarczającym przygotowaniu Doktoranta do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Stwierdzam zatem, że praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu *art. 13.1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki (Dz.U. nr. 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami)* w zw. z *art. 179 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2020.1086 z póź. Zm.)*. W związku z powyższym wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej o przyjęcie dysertacji Pana mgr. inż. Piotra Andrzeja Dmochowskiego jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autora do dalszych etapów realizacji przewodu doktorskiego.



dr hab. inż. Janusz Ćwiklak, prof. LAW