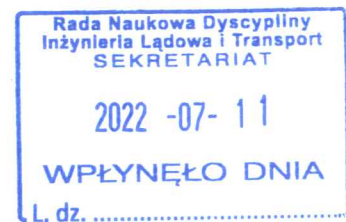


dr hab. Telesfor Marek Markiewicz, prof. uczelni  
Akademia Sztuki Wojennej w Warszawie  
Wydział Zarządzania i Dowodzenia

Warszawa, 11 lipca 2022 r.



## Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Andrzeja Dmochowskiego

pt.: **Płynność ruchu lotniczego w obszarowym sektorze kontroli**

**Promotor:** prof. dr hab. inż. Jacek Skorupski

### 1. Informacje ogólne

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Piotra Andrzeja Dmochowskiego opracowana została na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej (pismo nr WTBD.DR.120.2022 z dnia 30 czerwca 2022 r.) oraz na podstawie dostarczonej rozprawy doktorskiej pod wyżej wymienionym tytułem.

### 2. Ogólna charakterystyka pracy

Recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Piotra Andrzeja Dmochowskiego liczy 171 stron zwięzłego opracowania. Merytoryczna część rozprawy zawarta została na 145 stronach, resztę pracy stanowią: streszczenie (w jęz. polskim i angielskim), wykaz podstawowych akronimów, pojęć i definicji oraz bibliografia, na podstawie której Autor przygotował swoją pracę. Bibliografia obejmuje łącznie 136 pozycji (w tym 95 obcojęzycznych) – są to książki, artykuły naukowe, akty prawne, dokumenty normatywne oraz źródła internetowe. W spisie literatury zawarta jest jedna pozycja Doktora oraz dziesięć pozycji współautorskich. Literatura jest poprawnie dobrana i zawiera większość najważniejszych pozycji z zakresu badanej problematyki, które zostały wykorzystane w bardzo szerokim zakresie. Autor nie wykazał jednak żadnej publikacji (książki, artykułu naukowego) dotyczącej metodologii badań naukowych.

Rozprawa podzielona jest na siedem rozdziałów, w tym wprowadzenie, przegląd literatury i założenia badawcze, podsumowanie i kierunki dalszych badań. Układ pracy jest przejrzysty, podział treści na rozdziały i podrozdziały poprawny. Praca ma charak-

ter teoretyczno-analityczny i dotyczy opracowania metody oceny płynności ruchu lotniczego, umożliwiającej sterowanie przepustowością przestrzeni powietrznej za pomocą odpowiedniego kształtowania strumieni ruchu lotniczego, która mogłaby być wykorzystana w zarządzaniu przepływem ruchu lotniczego (ATFM) przez lokalny organ ATFM w Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej (PAŻP).

Terminologia i pojęcia stosowane w pracy nie budzą większych zastrzeżeń. Materiały ilustracyjne i tabele z wynikami badań zamieszczone w pracy są prawidłowo sporządzone i opisane, czytelne i ułatwiają czytelnikowi śledzenie omawianych zagadnień. Do nieznacznych mankamentów pracy można zaliczyć m.in. niewystarczający miejscami opis analizowanych zagadnień (dotyczy to w szczególności rozdziału 2), brak syntetycznych wniosków podsumowujących poszczególne rozdziały, brak spisu rysunków i tabel oraz drobne błędy językowe (stylistyczne, gramatyczne i interpunkcyjne) pojawiające się w całym tekście.

### **3. Ocena podjętego tematu**

Recenzowana rozprawa doktorska podejmuje problematykę dotyczącą zarządzania przepływem ruchu lotniczego (ATFM) w polskiej przestrzeni powietrznej. Podjęta w rozprawie tematyka jest bardzo aktualna i dostosowana do współczesnych trendów w zarządzaniu ruchem lotniczym (ATM). ATFM stanowi część służb ATM i w związku z tym jest objęte przepisami zawartymi w załączniku 11 – *Służby ruchu lotniczego* (rozdział 2, sekcja 2.1) do konwencji chicagowskiej, który ustanawia obowiązek państw w zakresie wyznaczenia organu odpowiedzialnego za zapewnianie takich służb. Biorąc pod uwagę współczesny globalny charakter ruchu lotniczego, ATFM w europejskim regionie ICAO (EUR) nie może być ograniczone do jednego państwa lub rejonu informacji powietrznej (FIR) ze względu na jego dalekosiężne skutki na przepływy ruchu w innych regionach świata.

W polskiej przestrzeni powietrznej, jako integralnej części europejskiej przestrzeni powietrznej, ruch lotniczy jest koordynowany centralnie przez wyspecjalizowany organ Europejskiej Organizacji ds. Bezpieczeństwa Żeglugi Powietrznej EUROCONTROL – Centrum Operacyjne Menedżera Sieci (NMOC), natomiast za zapewnianie bezpiecznej, ciągłej, płynnej i efektywnej żeglugi powietrznej odpowiedzialna jest Polska Agencja Żeglugi Powietrznej (art. 3 ust. 1 ustawy o PAŻP). Zadanie to realizowane jest przez służby żeglugi powietrznej, zarządzanie przestrzenią powietrzną oraz zarządzanie

przepływem ruchu lotniczego zgodnie z przepisami Unii Europejskiej dotyczącymi Jednolitej Europejskiej Przestrzeni Powietrznej (SES).

Zarządzanie przepływem ruchu lotniczego jest czynnikiem umożliwiającym zwiększenie skuteczności i efektywności zarządzania ruchem lotniczym. Przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa, wydajności, efektywności kosztowej i zrównoważenia środowiskowego. Jest również głównym czynnikiem umożliwiającym globalną interoperacyjność w branży transportu lotniczego. Służba ATFM jest ustanowiona w celu umożliwienia instytucjom zapewniającym służby żeglugi powietrznej (ANSP) efektywnego świadczenia wymaganych usług w oparciu o bieżące i przewidywane potrzeby operacyjne. W celu skutecznego funkcjonowania służba ta bazuje na wielu systemach pomocniczych, procesach i danych operacyjnych.

Początkowe wdrożenia ATFM miały na celu zarządzanie zapotrzebowaniem na ruch lotniczy w sytuacji, gdy przekraczało ono przepustowość służb kontroli ruchu lotniczego (ATC). Współczesna koncepcja ATFM rozwinęła się w celu ułatwienia bezpiecznego, uporządkowanego i szybkiego przepływu ruchu lotniczego nie tylko poprzez zapewnienie, że przepustowość ATC jest zoptymalizowana i wykorzystana w maksymalnym stopniu, ale także umożliwienie, aby zapotrzebowanie na ruch było zgodne z możliwościami ATC.

Zasadniczo ATFM jest potrzebne w każdym przypadku, gdy użytkownicy przestrzeni powietrznej napotykają na ograniczenia w swojej działalności oraz na obszarach, gdzie przepływy ruchu są znaczące. ATFM wymaga zaangażowania, po pierwsze – na etapie strategicznym, w formie strategicznego planowania wykorzystania przestrzeni powietrznej; po drugie – w fazie przed-taktycznej, kiedy to ocenia się czynniki meteorologiczne i inne tworzące się ograniczenia oraz rozważa się plany łagodzące; oraz po trzecie – podczas fazy taktycznej, która obejmuje okres, w którym statek powietrzny znajduje się w locie. Zarządzanie przepływem ruchu lotniczego stale ewoluuje wraz z opracowywaniem nowych procedur i technologii, aby zapewnić poprawę przepustowości i wydajności operacyjnej w celu zaspokojenia rosnących potrzeb lotnictwa cywilnego.

Biorąc pod uwagę szybko zachodzące zmiany w zakresie zarządzania przepływem ruchu lotniczego należy stwierdzić, że są one z pewnością bardzo interesującym i wartym wielu analiz obszarem badawczym. Z tego powodu uważam, że wybór tematu pracy jest trafny, aktualny i istotny zarówno z naukowego (poznawczego), jak i praktycznego punktu widzenia. Autor wyraźnie określił lukę badawczą jako *brak publikacji*

*naukowych oraz narzędzi inżynierskich, pomocnych do balansowania przepustowości w ramach wielu sektorów (w domyśle – kontroli obszaru). Wskazał ponadto, że narzędzia te i wspierające je metody są nieliczne i bardzo uproszczone (s. 66 rozprawy). Luka badawcza została zatem właściwie zdiagnozowana, a jej istnienie zostało wykazane w analizie literatury przedmiotu badań (s. 47-65).*

#### **4. Analiza treści rozprawy**

W przedstawionej do recenzji rozprawie Autor podjął się niełatwego zadania związanego z opracowaniem nowej metody oceny płynności ruchu lotniczego, jako środka mającego na celu dostosowanie przepływu ruchu w danej przestrzeni powietrznej (sektora kontroli obszaru), tak aby zapewnić jak najefektywniejsze wykorzystanie tej przestrzeni z jednoczesnym ograniczeniem obciążenia pracą kontrolerów ruchu lotniczego odpowiedzialnych za przestrzeń powietrzną.

W związku z powyższym za cel badań Autor przyjął: *opracowanie metody oceny płynności ruchu lotniczego umożliwiającej sterowanie przepustowością przestrzeni powietrznej za pomocą odpowiedniego kształtowania strumieni ruchu lotniczego uwzględniającego zajętość kontrolerów ruchu lotniczego.*

Cel rozprawy uważam za dobrze sformułowany i mający wartość naukową.

Na podstawie zdefiniowanego celu pracy Autor sformułował problem badawczy w postaci dwóch następujących pytań:

1) *Jak integrować różne cele różnych uczestników ruchu lotniczego poprzez wykorzystywanie tylko jednego kryterium oceny jakości ruchu – jego płynności?*

oraz

2) *Czy istnieje związek pomiędzy płynnością ruchu, a przepustowością sektora? A jeśli tak, to jak określić tę zależność w sposób ilościowy?*

Moim zdaniem pierwsze pytanie badawcze nie całkowicie jest adekwatne do przyjętego celu pracy, natomiast drugie pytanie badawcze uważam za prawidłowo postawione.

Główną tezę pracy Doktorant zdefiniował następująco: *Metoda sterowania przepływem ruchu lotniczego w przestrzeni powietrznej, polegająca na sterowaniu płynnością, pozwala na operacyjne balansowanie przepustowości takiej przestrzeni.*

Postawiona teza nie została w pełni skorelowana z problemem badawczym, jednak wydaje się, że na podstawie przedstawionych w rozprawie wyników badań będzie można jednoznacznie ją udowodnić.

W rozdziale pierwszym zatytułowanym „Wprowadzenie. Analiza przedmiotu badań” Autor scharakteryzował podstawowe pojęcia dotyczące organizacji polskiej przestrzeni powietrznej (dokładniej: FIR Warszawa) oraz ruchu lotniczego w tej przestrzeni, ze szczególnym uwzględnieniem zapewniania służby kontroli ruchu lotniczego (ATC) w sektorach obszaru (ACC) oraz służby zarządzania przepływem ruchu lotniczego, zarówno na poziomie europejskim (NMOC), jak i lokalnym (FMP). Rozdział kończą wstępne rozważania Doktoranta na temat możliwości wykorzystania pojęcia płynności jako syntetycznego wskaźnika oceny efektywności przepływu ruchu lotniczego.

Drugi rozdział swej rozprawy doktorskiej Autor poświęcił kilku różnym zagadnieniom. W pierwszej części pt. „Akty prawne i publikacje ogólne dotyczące organizacji ruchu lotniczego” wymienione zostały wybrane przepisy i dokumenty normatywne z zakresu zarządzania ruchem lotniczym (ICAO, UE i EUROCONTROL), jednak bez ich szerszej analizy i wykazania znaczenia dla podjętej procedury badawczej. Kolejne trzy podrozdziały zawierają przegląd ważniejszych pozycji literatury przedmiotu badań, odnoszącej się do zagadnień o zróżnicowanym stopniu szczegółowości: począwszy od ogólnej charakterystyki procesu zarządzania przepływem ruchu lotniczego, poprzez wzajemne relacje między organizacją przestrzeni powietrznej (sektoryzacją i powiązaną z nią konfiguracją) a ATFM i ATC, aż po publikacje opisujące metody oceny ruchu lotniczego pod względem złożoności i płynności. Autor powołuje się tu także na własne doświadczenia zawodowe, które umożliwiły mu praktyczną weryfikację i ocenę proponowanych koncepcji teoretycznych. Analizowane zagadnienia mają bezpośredni i ścisły związek z podjętą problematyką badawczą. Na pozytywne podkreślenie zasługuje analiza literatury dotycząca identyfikacji luki badawczej. W ostatniej części Doktorant przedstawił założenia metodyczne swej rozprawy (o czym była już mowa) oraz plan badań. Brakuje jednak w tym miejscu opisu metod, technik i narzędzi badawczych, które zostały wykorzystane podczas badań teoretycznych i empirycznych, jak również nie zostały wskazane przyjęte ograniczenia badawcze (częściowo jest o nich mowa dopiero na s. 121).

W rozdziale trzecim Autor dokonał szczegółowego opisu trzech opracowanych modeli matematycznych: sektora kontroli obszaru, ruchu lotniczego w sektorze obszarym oraz kontroli ruchu lotniczego w tym sektorze. Zaprezentowane treści obejmują założenia tworzenia poszczególnych modeli, wyrażenia matematyczne pozwalające na wyznaczenie podstawowych parametrów (np. rozmiarów sektora, wielkości ruchu,

czasu zajętości kontrolera), tabele oraz schematy i algorytmy określonych działań. Kluczowy model kontroli ruchu lotniczego w sektorze obszarowym, służący oszacowaniu czasowej zajętości kontrolera, odwzorowuje łącznie ruch lotniczy w sektorze oraz pracę kontrolera obszaru przy obsłudze tego ruchu. W modelu uwzględniono różne rodzaje zdarzeń ruchowych i czasy trwania poszczególnych czynności elementarnych. W modelowaniu procesów ruchowych Autor wykorzystał hierarchiczną, kolorowaną, czasową sieć Petriego z priorytetami.

Rozdział czwarty dysertacji poświęcony został opisowi sposobu implementacji opracowanego modelu kontroli ruchu lotniczego. Implementacja modelu została zrealizowana z wykorzystaniem narzędzia CPN Tools 4.0 służącego do edycji, symulacji i analizy wysokopoziomowych sieci Petriego, które umożliwiło sprawdzenie poprawności przyjętych założeń badawczych. Autor przedstawił 10 postaci sieci Petriego odwzorowujących określone działania pilota i kontrolera dla różnych sytuacji i zdarzeń ruchowych w sektorze, z uwzględnieniem dostępności różnych systemów wsparcia. W rozdziale zawarto także opis badań szacowania przepustowości sektorów obszaru w FIR Warszawa, opracowaną przez EUROCONTROL metodą CAPAN (*ATC Capacity Analyser tool*), w których Autor brał udział jako członek zespołu badawczego.

W rozdziale piątym, mającym kluczowe znaczenie dla osiągnięcia przyjętego celu badań, Autor przedstawił na wstępie kwestie związane z wielkością ruchu, które stały się podstawą do dalszych rozważań dotyczących płynności ruchu lotniczego. Następnie Doktorant zaproponował własną definicję przedmiotowego terminu, a w kolejnym etapie procesu badawczego – opracowaną przez siebie metodę oceny płynności ruchu w przestrzeni powietrznej. Pojęcie płynności ruchu jest tu analizowane w kontekście wielkości i jego natężenia w sektorze kontroli obszaru, jako zmiennych niezależnych dla takich zależności, jak obciążenie kontrolera pracą i średnie opóźnienie na operację. Na szczególną uwagę w tym rozdziale zasługuje szczegółowy opis wyznaczenia metody oceny płynności ruchu, który został podzielony na trzy części (fazy), pokrywające się z trzema kolejnymi etapami prac badawczych. Obrazują one z jednej strony ewolucję wykorzystywanych narzędzi badawczych, z drugiej zaś – stałość przyjętej metody badań.

Rozdział szósty rozprawy zawiera opis eksperymentu badawczego mającego na celu określenie płynności ruchu lotniczego w obszarowym sektorze kontroli (z użyciem metody wykorzystującej tzw. korzystne plany lotów). Na podstawie danych pomiaro-

wych Autor pokazał sposób obliczania płynności ruchu lotniczego oraz określił zależność płynności ruchu od jego natężenia. Rezultaty przeprowadzonego eksperymentu wskazały na możliwość wykorzystania kryterium płynności do określania przepustowości sektorów i wspomaganie zarządzania przepływem ruchu lotniczego. W niniejszym rozdziale Doktorant przedstawił ponadto metodę oceny zajętości czasowej kontrolera ruchu lotniczego oraz wyniki symulacji przeprowadzonych dla trzech scenariuszy sytuacji ruchowej w sektorze kontroli obszaru. Potwierdziły one zależność między intensywnością strumienia zgłoszeń statków powietrznych, a zajętością kontrolera i pozwoliły na określenie jej w sposób ilościowy.

Ostatni rozdział rozprawy stanowi podsumowanie wraz z odniesieniem do wcześniej wyznaczonego celu pracy i przyjętych założeń badawczych. W rozdziale tym zostały także przedstawione kierunki dalszych badań.

## **5. Merytoryczna ocena pracy**

Autor rozprawy skoncentrował się na zagadnieniach związanych z opracowaniem metody oceny płynności ruchu lotniczego, umożliwiającej sterowanie przepustowością przestrzeni powietrznej za pomocą odpowiedniego kształtowania strumieni ruchu lotniczego. Podstawą opracowania metody oceny płynności ruchu lotniczego były wnioski z badań szacowania przepustowości sektorów kontroli obszaru w FIR Warszawa metodą CAPAN, przeprowadzonych w 2017 r. przez zespół ekspertów EUROCONTROL. Doświadczenia Autora wyniesione z udziału w pracach tego zespołu wpłynęły zarówno na koncepcję pracy, jak i przyjęte algorytmy działania, modele i strukturę danych wejściowych oraz stworzone narzędzie badawcze.

W procesie określania i oceny przepustowości sektora ATC wykorzystywane są matematyczne modele zajętości i złożoności ruchu oraz modele oceny obciążenia pracą kontrolerów. W obu przypadkach istotne jest, aby przepustowość określona za pomocą tych modeli była potwierdzona innymi metodami (np. obserwacje w czasie rzeczywistym, symulacje w czasie rzeczywistym). Matematyczne modele zajętości i złożoności ruchu uwzględniają takie kryteria, jak profil ruchu (przelot, wznoszenie, opadanie); zestawienie prędkości; liczba i rodzaje typowych interwencji ATC; czasy lotów w sektorze oraz domyślne obciążenie pracą kontrolera na lot.

Modele oceny zajętości kontrolera rozkładają jego obciążenie pracą na zestaw definiowalnych i wymiernych zadań, dla których określone są średnie czasy ich wykonania (aktu motorycznego). Zadania te obejmują koordynację, obsługę danych o locie,

prowadzenie korespondencji radiowej i zarządzanie konfliktami. Ponieważ proces rozumowania umysłowego (aktu sensorycznego) kontrolera nie może być zmierzony, zwykle ustala się akceptowalny próg obciążenia pracą, a przepustowość ocenia się w punkcie, w którym ten próg jest osiągnięty. Modele takie wymagają intensywnego udziału personelu kontroli w ustalaniu parametrów obciążenia pracą.

Przedstawiona w zarysie metodyka szacowania przepustowości sektora przestrzeni powietrznej została wykorzystana przez Autora również do określenia wpływu płynności ruchu na przepustowość sektora kontroli obszaru.

Doktorant dokonał ważnego i trafnego spostrzeżenia, iż w procesie zarządzania przepływem ruchu lotniczego możliwe jest zastosowanie kryterium płynności (zmiennej zależnej) jako nowej miary ilościowej charakteryzującej jakość i wielkość ruchu (zmiennych niezależnych) w obszarowym sektorze kontroli. Zgodnie z przyjętym przez Autora założeniem sterowanie płynnością ruchu lotniczego powinno poprawić przepustowość sektora kontrolowanej przestrzeni powietrznej.

W celu udowodnienia postawionej tezy Doktorant pomyślnie zrealizował przyjęty plan badań, obejmujący stworzenie trzech modeli matematycznych (sektora obszaru, ruchu lotniczego w sektorze kontroli obszaru i kontroli ruchu lotniczego w obszarowym sektorze), a następnie zintegrowanie opracowanych modeli, stworzenie analitycznego narzędzia badawczego, sprawdzenie poprawności modeli i narzędzia badawczego oraz przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych.

W rezultacie przeprowadzonych badań teoretycznych została opracowana autorska definicja płynności ruchu lotniczego, która była podstawą do określenia trzech metod: oceny przepustowości sektorów obszaru, zajętości kontrolerów (s.109-117) oraz płynności ruchu (s. 121-135). W wyniku zrealizowanych przez Autora prac została opracowana metoda oceny płynności ruchu lotniczego, która umożliwi sterowanie przepustowością przestrzeni powietrznej za pomocą odpowiedniego kształtowania strumieni ruchu lotniczego, z jednoczesnym uwzględnieniem obciążenia pracą kontrolerów ruchu lotniczego.

Na potrzeby badań empirycznych Doktorant stworzył narzędzie badawcze (symulacyjne). W toku procesu badawczego Autor określił charakter relacji i ilościowe zależności między płynnością ruchu, a przepustowością przestrzeni powietrznej (s. 140-146). Na podstawie zgromadzonych wyników badań przeprowadzonych za pomocą eksperymentów symulacyjnych Autor jednoznacznie wykazał, że poprzez oddziaływa-



nie na płynność ruchu możliwe jest sterowanie przepustowością, przy czym zwiększenie płynności ruchu powoduje wzrost przepustowości sektora, natomiast skrócenie czasu przelotu zmniejsza zarówno płynność ruchu, jak i przepustowość sektora.

Otrzymane przez Doktoranta rezultaty badań, po weryfikacji z ekspertami i porównaniu z rzeczywistymi danymi, okazały się poprawne i wiarygodne. Praktyczna interpretacja wyników tych eksperymentów oznacza, że utrzymywanie ruchu zgodnego z planami lotów zapewnia jego płynność i zmniejsza obciążenie pracą kontrolera, natomiast wydawanie zezwoleń na loty bezpośrednio (powodujące zmianę parametrów lotu), choć korzystne z punktu widzenia ekonomiczności operacji lotniczej, zwiększa zajętość kontrolera, a tym samym może wpływać na poziom bezpieczeństwa ruchu lotniczego. Uogólniając, poprzez zapewnienie płynności przepływu strumieni ruchu lotniczego możliwe jest zarówno zwiększenie przepustowości sektorów kontroli obszaru oraz usprawnienie działania służb odpowiedzialnych za przepływ ruchu lotniczego (ACC, FMP).

Moim zdaniem cel pracy został przez Autora osiągnięty. Rezultaty przeprowadzonych badań wskazują na możliwości praktycznego zastosowania opracowanej metody oceny płynności ruchu do wspomagania zarządzania przepływem ruchu lotniczego na lokalnym stanowisku FMP oraz świadczenia przez PAŻP usług kontroli ruchu lotniczego w sektorach obszaru (ACC).

Podsumowując ocenę merytoryczną pracy stwierdzam, że jest ona na dobrym poziomie i wnosi nowe wartości do oceny płynności ruchu w procesie zarządzania przepływem ruchu lotniczego.

## **6. Uwagi szczegółowe**

Podczas czytania i analizy treści rozprawy zauważyłem szereg potknięć edytorskich oraz merytorycznych, które wymagają komentarza i ustosunkowania się Autora pracy. Do najważniejszych należą:

- 1) W zestawieniu podstawowych pojęć i definicji (s. 12) terminy „natężenie ruchu” i „pojemność sektora obszaru” są zdefiniowane identycznie.
- 2) W przedstawionych na stronach 65-67 założeniach badawczych brak jest opisu metod, technik i narzędzi badawczych. W związku z powyższym proszę o ich wskazanie i scharakteryzowanie w odniesieniu do poszczególnych etapów przeprowadzonego procesu badawczego.

- 3) W rozprawie brak jest odpowiedzi na pierwsze pytanie badawcze, stanowiące część sformułowanego problemu badawczego: *Jak integrować różne cele różnych uczestników ruchu lotniczego poprzez wykorzystywanie tylko jednego kryterium oceny jakości ruchu – jego płynności?* Proszę zatem Doktoranta o jej udzielenie w trakcie obrony.
- 4) Proszę wskazać, do którego pytania badawczego została postawiona teza rozprawy?
- 5) Prawdziwość tezy dowodzi się metodami dedukcyjnymi lub empirycznie. Ponieważ teza sformułowana w rozprawie ma następującą postać słowną: *Metoda sterowania przepływem ruchu lotniczego w przestrzeni powietrznej, polegająca na sterowaniu płynnością, pozwala na operacyjne balansowanie przepustowości takiej przestrzeni*, to wystarczy dowiedzieć, że zmiana przepływu ruchu wywołuje zmianę przepustowości przestrzeni, chyba że Autor inaczej rozumie termin „operacyjne balansowanie” (jako np. zarządzanie). Balansowanie to równoważenie. Czy chodzi zatem o metodę pozwalającą osiągnąć balans pomiędzy maksymalną (dla szczytowych poziomów ruchu) a deklarowaną (normatywną) przepustowością, czy też metoda ta ma zwiększyć przepustowość w wyniku sterowania przepływem ruchu lotniczego w grupie sektorów?
- 6) Istnieje pewna nieścisłość między wzorem (31) na określenie natężenia ruchu lotniczego (strona 118) a jego definicją. Proszę Doktoranta o odniesienie się do tej kwestii podczas obrony.
- 7) Na stronie 120 Autor stwierdza: *Chcąc zwymiarować płynność możliwe są dwa podejścia: dwuwartościowe i wielowartościowe*. Proszę Doktoranta o wyjaśnienie różnic między tymi podejściami.
- 8) Brak opisu osi współrzędnych na kilku wykresach (np. rys. 40 na stronie 127, rys. 41 na stronie 128, rys. 43 na stronie 132).
- 9) Na stronie 137 Autor stwierdza: *Aby pokazać związek między tradycyjną definicją natężenia ruchu, a zaproponowaną w niniejszej pracy ideą płynności ruchu, w Tabeli 20. przedstawiono relację między natężeniem ruchu, obliczonym z użyciem wzorów (39) i (40), a płynnością ruchu w sektorach TC, SE, BG. Wzory (39) i (40) nie dotyczą jednak natężenia, lecz płynności ruchu. W tej sytuacji proszę o wyjaśnienie, na podstawie jakich wzorów określono zależności między natężeniem ruchu a jego płynnością w wyznaczonej przestrzeni powietrznej?*

## **7. Podsumowanie i konkluzja**

Przedstawioną do recenzji pracę oceniam pozytywnie, została ona wykonana na dobrym poziomie merytorycznym. Zawarte w niej treści dotyczą złożonych problemów związanych z zarządzaniem przepływem ruchu lotniczego w polskiej przestrzeni powietrznej. Doktorant bardzo dobrze orientuje się w przedmiotowej problematyce badawczej. Treści merytoryczne świadczą o znacznej dojrzałości naukowej Doktoranta oraz o jego umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Zaprezentowane w rozprawie wyniki badań oraz opracowana metoda oceny płynności ruchu lotniczego, umożliwiająca sterowanie przepustowością przestrzeni powietrznej za pomocą odpowiedniego kształtowania strumieni ruchu lotniczego z uwzględnieniem zajętość kontrolerów ruchu lotniczego, są oryginalnym dorobkiem naukowym Doktoranta. Kandydat potrafi poprawnie zaprojektować warsztat badawczy, zinterpretować wyniki uzyskane z badań, a ponadto posiada też umiejętność krytycznej oceny własnych dokonań.

Opracowana metoda oceny płynności ruchu lotniczego może być wykorzystana w procesie doskonalenia operacyjnego zarządzania przepływem ruchu lotniczego przez Polską Agencję Żeglugi Powietrznej.

**Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Piotra Andrzeja Dmochowskiego pod tytułem: „Płynność ruchu lotniczego w obszarowym sektorze kontroli” spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim zawarte w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Wnoszę zatem o jej dopuszczenie do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej.**



Telesfor Marek Markiewicz