

Andrzej STACHLEWSKI

Politechnika Warszawska
Wydział Transportu
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa
a.stachlewski@gmail.com

O PEWNEJ METODZIE ZWIĘKSZENIA PRZEPUSTOWOŚCI WYBRANEGO PORTU LOTNICZEGO

Streszczenie:

Celem artykułu jest analiza możliwości zmiany miejsca, z którego niektóre statki powietrzne rozpoczynają rozbieg na drodze startowej i określenia wpływu tej zmiany na przepustowość Lotniska F. Chopina w Warszawie. Opisany został model ruchu lotniskowego pozwalający na wyszczególnienie możliwych do pomierzenia operacji elementarnych. Wyniki uzyskanych pomiarów posłużyły do przeprowadzenia analizy symulacyjnej. Efekt eksperymentów został zaprezentowany wraz ze wnioskami.

Słowa kluczowe: przepustowość nawigacyjna, port lotniczy, skrócony start

WPROWADZENIE

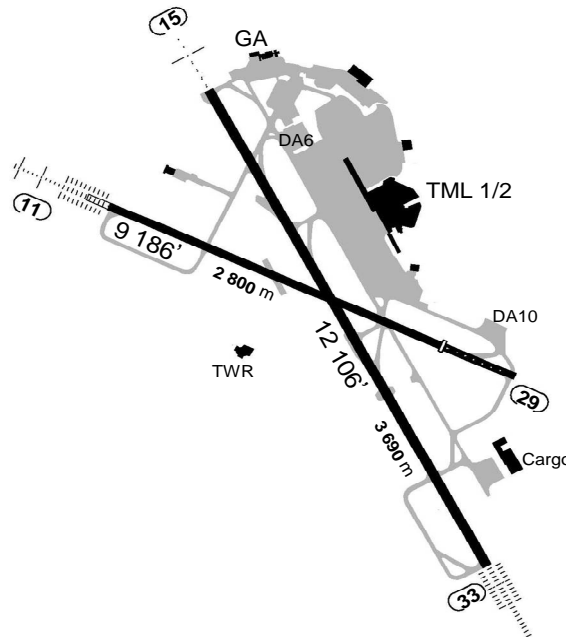
Lotnisko Chopina w Warszawie posiada specyficzną konfigurację dróg startowych, które przecinają się w połowie. Jest to nieefektywne pole wzlotów, które znacząco ogranicza liczbę możliwych do wykonywania operacji. Doświadczenie pokazało, że podczas zwiększonego natężenia ruchu następuje spiętrzanie operacji gotowych do wykonania, a więc rośnie opóźnienie związane z oczekiwaniem na wolną drogę startową.

W niniejszej pracy przeanalizowana została możliwość takiego wykonywania operacji startu, aby poprawić wykorzystanie dostępnej powierzchni dróg startowych, przy jednoczesnym zmniejszeniu czasu, w którym jedna operacja blokuje wykorzystanie innych. Ponieważ podobne operacje są sporadycznie wykonywane, możliwe jest ich pomierzenie oraz przeprowadzenie analizy statystycznej. Następnie, wykorzystując opracowane oprogramowanie do analizy symulacyjnej, możliwe jest eksperymentalne rozpatrzenie modyfikacji w operacjach wykonywanych na lotnisku, oraz porównanie ich do wartości uzyskanych podczas dotychczasowego funkcjonowania lotniska.

Analizowany port lotniczy posiada dwa krzyżujące się pasy startowe, rozbudowaną sieć dróg kołowania oraz około 100 stanowisk postojowych. Główna droga startowa wytyczona jest na kierunku 33-15 (327°-147° MAG). Druga z nich oznaczona jest 11-29 (110°-290° MAG). Lotnisko jest na kierunkach 11 i 33 oprzyrządowane w ILS kategorii II, ponadto na jego terenie znajduje się radiolatarnia kątowno-odległościowa DVOR/DME „OKE” oraz kątowny lokator/NDB L „AY”. Ze względu na ograniczenia emisji hałasu, stosowany jest preferencyjny system doboru dróg startowych do wykonywania operacji. Dla operacji dolotu praktykuje się wykorzystywanie RWY 33, RWY 11, RWY 15, RWY 29, natomiast dla operacji odlotu RWY 29, RWY 15, RWY 33, RWY 11, w kolejności od najbardziej preferowanej.

Ponieważ istotnym czynnikiem jest kierunek wiatru, najczęściej wykorzystywanymi konfiguracjami dróg startowych są RWY 33 do lądowania i RWY 29 do startu, oraz RWY 11

do lądowania i RWY 15 do startu. Pozwala to używać dwie drogi startowe jednocześnie, zabezpieczając występujące na lotnisku warunki meteorologiczne. Jak wspomniano wcześniej, bezpieczeństwo wymaga, aby operacje na tak skonfigurowanym polu wzlotów, z krzyżującymi się drogami startowymi, wykonywane były zależnie od siebie. Nie jest możliwe jednoczesne startowanie i lądowanie. Oznacza to, że przykładowo w czasie, kiedy przeprowadzane jest lądowanie na kierunku 33, statek powietrzny oczekujący na odlot na pasie 29 otrzymuje zgodę na start dopiero w momencie, kiedy lądujący opuści skrzyżowanie dróg startowych. Sytuacja powtarza się, kiedy kontynuujący podejście na pas 33 oczekuje na zgodę na lądowanie do momentu, kiedy statek powietrzny startujący wzniesie się lub przetnie skrzyżowanie.



Rys. 1. Układ dróg startowych, dróg kołowania i płyt postojowych portu lotniczego Warszawa Okęcie
Źródło: [2].

Podczas normalnej pracy operacyjnej najczęściej wykorzystywaną do startów jest droga startowa na kierunku 29. Powodem tego są procedury antyhałasowe oraz często występujący na lotnisku kierunek wiatrów, wiejących z zachodu. Podczas pomiarów opisanych później, liczba wykonanych operacji startu rozkłada się następująco:

- DS 15 – 469, ok. 24%,
- DS 33 – 43, ok. 2%
- DS 29 – 1445, ok. 74%.

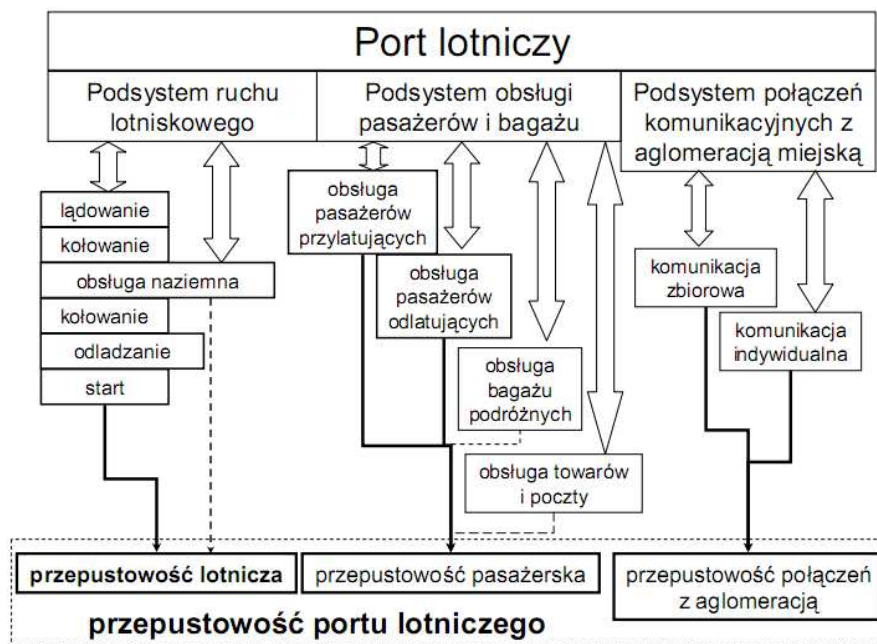
Instrukcja operacyjna lotniska przewiduje, że możliwe jest wykonywanie odlotów z DS 29 korzystając ze skróconych dystansów. Procedura ta nazywa się „intersection takeoff” i pozwala na wybranie punktu rozpoczęcia startu podczas koordynacji kontroli ruchu lotniczego i załogi statku powietrznego. Przewidziane zostały trzy główne dystanse, nazwane od dróg kołowania najczęściej wykorzystywanych podczas zajmowania DS 29. Poniżej prezentuję tabelę deklarowanych długości DS 29.

Tab. 1. Deklarowane długości DS 29

RWY	TWY	TORA (M)	TODA (M)	ASDA (M)
29	E3	2800	2800	2950
	N	2300	2300	2300
	M3	1904	1904	1904

Źródło: [4]

Podstawowym parametrem oceny nawigacyjnej portu lotniczego jest jego przepustowość (pojemność) dla operacji lotniczych startu i lądowania (airside capacity). Przepustowość lotnicza to dopuszczalna liczba samolotów, które w danym czasie (z reguły w 1 godzinie), mogą bezpiecznie wykonywać operacje startów i lądowań, przy średnim opóźnieniu operacji nie większym od dopuszczalnego. Konieczność określania przepustowości spowodowała powstanie wielu komercyjnych modeli ruchu lotniskowego. Problemem jest jednak nie modelowanie, lecz poprawność przyjętej metodologii określania przepustowości (capacity) portu lotniczego (rys. 2). Z uwagi na konieczność poprawy warunków obsługi statków powietrznych, konieczna jest dokładna analiza ruchu w rejonie portu lotniczego. Badania wykazały [3], że analiza elementarnych operacji lotniczych daje dokładną ocenę procesu obsługi ruchu.



Rys. 2. Składowe przepustowości portu lotniczego.

Źródło: opracowanie własne.

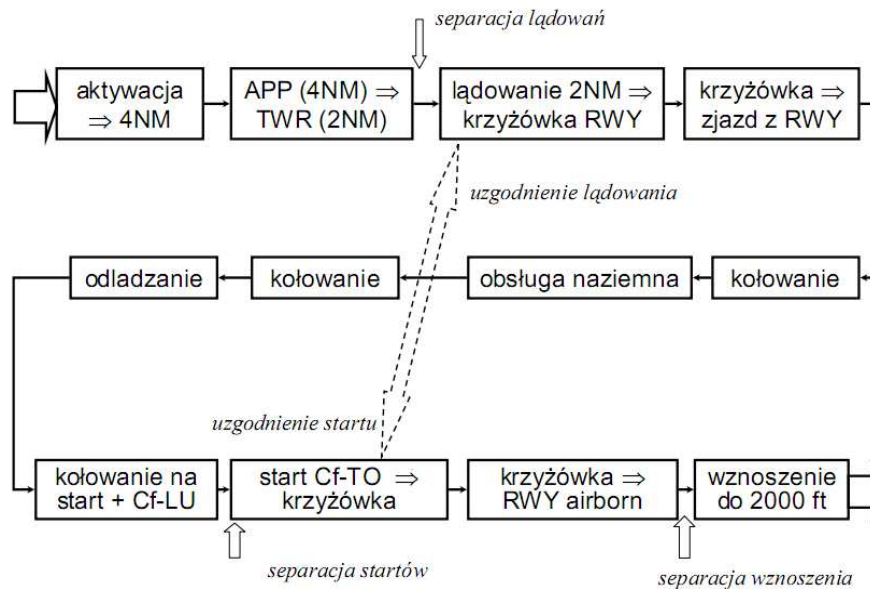
Postępowanie polegające na rozbiciu analizowanego procesu na operacje elementarne, analiza operacji elementarnych i ich ponowne złożenie w model dokładny jest znanym podejściem w tym zakresie. Jednak dopiero dobra identyfikacja procesów obsługi operacji elementarnych pozwala efektywnie zastosować to podejście do oceny obsługi ruchu lotniczego i pasażerów.

Dzięki zidentyfikowaniu operacji elementarnych, możemy przystąpić do analizy każdej z nich oddzielnie. Operacje wykonywane przez statki powietrzne w części lotniczej lotniska (airside) związane są z lądowaniem, kołowaniem oraz startem, i występuje dla nich wysoka interferencja z operacjami innych statków powietrznych oraz układem dróg kołowania i pasów startowych. Obsługa naziemna dokonywana na statku powietrznym w trakcie zajmowania przez niego stanowiska postojowego wpływa na jego możliwość zgłoszenia się do uruchamiania i kołowania. Najistotniejszy dla modelowania ruchu lotniczego jest pomiar czasów tych operacji elementarnych, pozwalający na wyznaczenie ścieżki krytycznej i w konsekwencji zidentyfikowanie wąskich gardeł.

Postępowanie polegające na rozbiciu analizowanego procesu na operacje elementarne, analiza operacji elementarnych i ich ponowne złożenie w model dokładny jest znanym podejściem w tym zakresie. Konieczna jest tu dobra identyfikacja procesów losowych

operacji elementarnych. Podstawowe następstwo zdarzeń kolejnych operacji w ruchu statków powietrznych w rejonie dla portu lotniczego o krzyżujących się drogach startowych na rys. 3.

Operacyjna analiza ruchu lotniskowego prowadzi więc do opisu za pomocą sieci skierowanej. Gałęzie sieci opisują poszczególne operacje elementarne opisane losowymi charakterystykami czasu realizacji. Z analizy poszczególnych operacji ruchu lotniskowego wynika, że sieć operacji jest siecią asymetryczną i przechodnią.



Rys. 3. Następowanie operacji lotniczych w porcie lotniczym o dwóch krzyżujących się DS.
 Źródło: opracowanie własne.

Należy tu zaznaczyć, że występuje blokowanie dróg startowych portu lotniczego przez statki powietrzne lądujące statkom startującym i odwrotnie. Możliwe jest też wzajemne blokowanie dróg kołowania portu lotniczego przez inne statki powietrzne kołujące.

1. POMIARY RUCHU I METODA POSTĘPOWANIA

Dzięki ścisłej współpracy Zakładu Inżynierii Transportu Lotniczego z Polską Agencją Żeglugi Powietrznej grupa 12 studentów odbyła w maju 2010 praktyki, polegające na mierzeniu przepustowości dróg startowych. Wykonane pomiary stanowią podstawę symulacji ruchu lotniskowego na Lotnisku Chopina w Warszawie. Ponadto udostępnione do analizy zostały pomiary wykonane w roku 2008, pozwalające na porównanie charakterystyki pola wzlotów na przestrzeni dwóch lat.

Pomiary wykonywane były z pomieszczenia Wieży (TWR) w Centrum Zarządzania Ruchem Lotniczym. Budynek ten znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie Portu Lotniczego, przy ulicy Wieżowej 8. Z pomieszczenia TWR kontrolerzy ruchu lotniczego pełnią służbę nad wszystkimi statkami powietrznymi w strefie kontrolowanej lotniska oraz na jego powierzchni. Dzięki temu, uzyskana została możliwość wnikliwego przeanalizowania różnych sytuacji zdarzających się podczas codziennej pracy operacyjnej w obrębie pola manewrowego, oraz dokładnego pomierzenia wartości czasowych dotyczących wykonywania przez załogi konkretnych poleceń.

Łączna liczba pomierzonych operacji, które zawierały informacje pozwalające na ich przeanalizowanie, wynosi 3871. Zostały one zebrane przez autora oraz obrobione przy użyciu programu Microsoft Excel. Każdy rekord wymagał sprawdzenia autentyczności wprowadzonych danych poprzez porównanie z rozkładowymi danymi udostępnianymi przez

Lotnisko Chopina, analizy zarejestrowanego statku powietrznego wraz ze standaryzacją jego oznaczenia, odrzucenia bądź akceptacji pomierzonych wartości czasowych w zależności od otoczenia i warunków podczas pomiaru.

Statki powietrzne na potrzeby analizy modelowej zostały podzielone na 5 kategorii, w zależności od MTOW oraz osiągow. Przyjęto następujące kryteria podziału:

Tab. 2. Kryteria kategoryzacji statków powietrznych

Kategoria samolotu	Maksymalna masa do startu MTOW	Czas nabierania wysokości 2 000 ft po starcie
L-slow: Light-slow (lekki wolny)	MTOW \leq 7000 kg	ok. 2 minut
L-normal Light-normal (lekki normalny)	MTOW \leq 7000 kg	1 minuta lub mniej
M-slow Medium-slow (średni wolny)	7000 kg \leq MTOW \leq 136 000 kg	ok. 2 minut
M-normal Medium-normal (średni normalny)	7000 kg \leq MTOW \leq 136 000 kg	1 minuta lub mniej
H Heavy (ciężki)	136 000 kg \leq MTOW	1 minuta lub mniej

Źródło: [1]

Przeprowadzone pomiary pozwoliły na wyznaczenie czasów elementarnych operacji wykonywanych przez statki powietrzne.

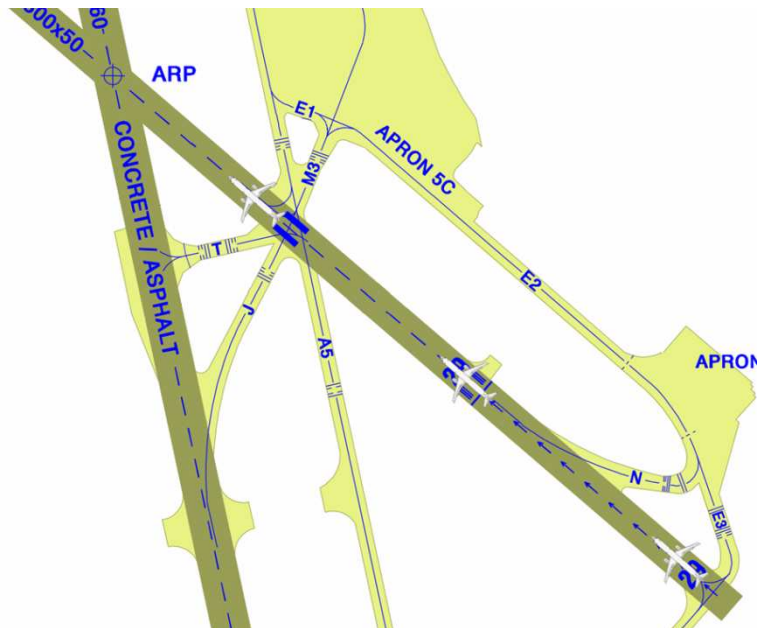
Dla samolotów lądujących zidentyfikowano rozkłady losowe czasów operacji elementarnych:

- od 4 NM do 2 NM przed progiem,
- od 2 NM przed progiem do skrzyżowania dróg startowych,
- od skrzyżowania dróg startowych do opuszczenia drogi startowej.
- Podobnie zidentyfikowano rozkłady losowe czasów operacji elementarnych dla startu:
- od chwili wydania zgody na zajęcie drogi startowej do chwili zakończenia manewru,
- od chwili wydania zgody na start do chwili minięcia skrzyżowania dróg startowych,
- od chwili minięcia skrzyżowania dróg startowych do chwili oderwania kół podwozia od drogi startowej.

Rozkłady losowe zidentyfikowano w rozbiciu na przyjęte 5 kategorii (tab. 2). Dla lądowania lub startu zidentyfikowano więc 30 rozkładów losowych.

Zgodnie z założeniami, wykonywane są starty z trzech różnych punktów na drodze startowej 29. Zostały one oznaczone jako M3, N i E3, zgodnie z oznakowaniem dróg kołowania, jak na rys. 4.

W toku pomiarów opisanych w rozdziale 3 pomierzone zostały wartości czasowe wykonywania startów z tych punktów. Ponieważ największy udział w operacjach ma kategoria Medium-normal, została przeanalizowana szczegółowo przepustowość nawigacyjna ze zmianą punktu rozpoczęcia startu dla tej kategorii. Najpierw zostały wykreślone przebiegi gęstości prawdopodobieństwa. Dla każdej operacji startu brany był pod uwagę czas od momentu otrzymania zgody na start do momentu opuszczenia skrzyżowania dróg startowych lub oderwania kół podwozia głównego od nawierzchni, w zależności od tego co nastąpiło wcześniej.



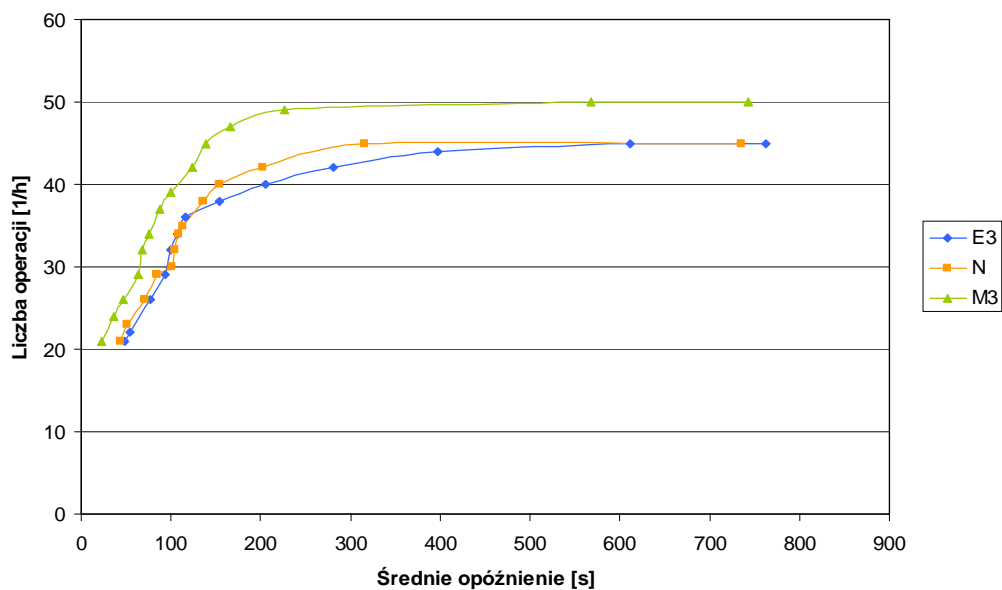
Rys. 4. Przedstawienie punktów startu.

Źródło: opracowanie własne.

2. WYNIKI SYMULACJI

Plik konfiguracyjny symulacji został zmodyfikowany dla wyszczególnionych trzech punktów rozpoczęcia startu tak, aby nie naruszać czasów elementarnych wykonywania innych operacji. Pozwoliło to przeprowadzić trzy eksperymenty dla danej konfiguracji DS 33 do lądowań, DS 29 do startów, obserwując przebieg przepustowości wyrażonej w liczbie operacji na godzinę w funkcji średniego opóźnienia na operację.

Aby postać wynikowa była bardziej czytelna, możliwe jest jej zapisanie w formie tabelarycznej, a następnie uporządkowanie i zaprezentowanie na jednym wykresie.



Rys. 5. Przebieg liczby operacji w funkcji średniego opóźnienia dla trzech różnych punktów rozpoczęcia startu: E3, N, M3

Źródło: opracowanie własne.

Od ok. 2001 w Europie (EUROCONTROL) przyjęto, że przepustowość lotnicza to dopuszczalna liczba samolotów, które w danym czasie (z reguły 1 godzinie), [Malarski 2009] mogą bezpiecznie wykonywać operacje startów i lądowań, przy średnim opóźnieniu operacji nie większym od dopuszczalnego / akceptowalnego lokalnie (np. akceptowalnego w skali kraju). Możemy więc określić dopuszczalne średnie opóźnienie na operację, i za pomocą wykresu na ryc. 5. oszacować oczekiwaną przepustowość godzinową przedmiotowego lotniska dla każdego z punktów startu.

Przyjmując średnie opóźnienie 5 minut na operację, uzyskany wynik przepustowości nawigacyjnej będzie następujący:

- dla startów rozpoczynających się od drogi kołowania E3 – 42 operacje na godzinę,
- dla startów rozpoczynających się od drogi kołowania N – 45 operacji na godzinę,
- dla startów rozpoczynających się od drogi kołowania M3 – 49 operacji na godzinę.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W toku analizy statystycznej i symulacyjnej wykazano, że wybór punktu rozpoczęcia startu dla Lotniska Chopina ma duży wpływ na zmianę jego przepustowości nawigacyjnej. Dla zadanego średniego opóźnienia różnica w przepustowości wyniosła nawet 7 operacji na godzinę. Proponowana technika może być więc dobrym rozwiązaniem stosowanym w czasie, kiedy zaplanowana do wykonania jest duża liczba operacji. Należy się również zastanowić nad przeprowadzeniem podobnej analizy dla drogi startowej na kierunku 15, która również jest często stosowana do startów, i również możliwe jest zajmowanie pozycji z różnych dróg kołowania.

W miarę rozwoju techniki konieczne jest modyfikowanie sposobu przeprowadzania operacji lotniczych. Najprawdopodobniej, proponowane podejście elastyczne do zagadnienia startu nie byłoby możliwe jeszcze kilkanaście lat temu, kiedy charakterystyki osiągowie statków powietrznych były o wiele gorsze. Teraz, dysponując starannie obliczonymi dystansami wymaganymi do odlotu w zależności od warunków i konfiguracji statku powietrznego możliwe jest uzgadnianie podobnych operacji na bieżąco, między kontrolerem i załogą. Być może w miarę rozwoju ruchu lotniczego praktyka ta będzie stosowana częściej, a nawet zostanie wprowadzone normujące ją rozwiązanie systemowe.

Należy zwrócić uwagę, że proponowane rozwiązanie wpisuje się w europejski trend elastycznego użytkowania przestrzeni powietrznej. Opisuje technikę stosowaną na ziemi, służącą do tego samego celu, jakim jest zwiększenie przepustowości oraz minimalizacja opóźnień w ruchu lotniczym.

Postać wynikowa analizy symulacyjnej jest zbieżna z wartościami publikowanymi przez zarządzającego lotniskiem oraz przestrzenią powietrzną, a więc możemy uznać ją za wiarygodną. Podchodzi jednak do zagadnienia nowocześnie i rozszerza dotychczas dostępną wiedzę o dodatkowe elementy. Należy więc prowadzić dalszy rozwój modelu symulacyjnego w nadziei na określenie innych warunkujących przepustowość portu lotniczego elementów, oraz możliwych wariantów ich poprawy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Malarski M., 2006, Inżynieria Ruchu Lotniczego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa,.

- [2] Malarski M., 2009, Modelowanie i analiza przepustowości lotniczej portu lotniczego, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, z. 71.
- [3] Malarski M., Stelmach A. 2004, Metoda oceny procesu obsługi ruchu lotniczego w rejonie lotniska, Badania operacyjne i systemowe 2004 – Zastosowania, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, s. 359-370.
- [4] AIP Polska 2011, Polska Agencja Żeglugi Powietrznej, AIRAC AMDT 106.

A METHOD FOR INCREASING OF CHOSEN AIRPORT CAPACITY

Abstract:

Following paper aims to analyse the possibility of selecting intersection departures for aircraft, and determine effect of the change on the airside capacity of Chopin Airport in Warsaw. Theory contained introduces into modern technics of air traffic management used in Poland. It also allows to judge the possibility of introducing mentioned modification to the aerodromes standard procedures in practice.

Key words: airside capacity, airport, intersection departure.