

Paweł GOŁDA¹, Jerzy MANEROWSKI²

Politechnika Warszawska
pawel.golda81@gmail.com
jma@it.pw.edu.pl

INFORMATYCZNE SYSTEMY WSPOMAGANIA EKSPLOATACJI STATKÓW POWIETRZNYCH

Streszczenie:

Artykuł jest wynikiem prac prowadzonych nad wdrożeniem systemów wspomagających eksploatację statków powietrznych. Przedmiotem artykułu jest przedstawienie możliwości obecnych systemów informatycznych i zakresu ich wykorzystania do wspomagania problemów decyzyjnych. W artykule zaproponowano modyfikację wybranego systemu informatycznego uwzględniając innowacje technologiczne stosowane w transporcie lotniczym celem usunięcia zidentyfikowanych słabych ogniw systemu. Rezultatem jest usprawnienie eksploatacji statków powietrznych.

Słowa kluczowe: przepustowość portu lotniczego, ruch statków powietrznych, drogi kołowania statków powietrznych

WPROWADZENIE

Projektowanie sieci logistycznych jest zadaniem bardzo złożonym. Dobry projekt wpływa na lepsze wyniki firmy, pozwala obniżyć koszty oraz zwiększa poziom obsługi klientów poprzez określenie optymalnego powiązania między poszczególnymi węzłami i przepływem towarów. Odpowiednia budowa sieci powiązań umożliwi również zmniejszenie czasów pokonania odległości w sieci.

Jak wynika z różnych badań i analiz ze względu na spodziewany wzrost ruchu lotniczego, w Europie występować będzie coraz większa luka pomiędzy przepustowością a popytem. Jeśli utrzymają się obecne trendy, a przepustowość nie zostanie zwiększona, należy oczekiwać, że ruch lotniczy w Europie ulegnie podwojeniu w ciągu nadchodzących 20 lat oraz ponad 60 europejskich portów lotniczych będzie znacznie przeciążonych, a do 2025 roku 20 głównych portów lotniczych będzie w pełni wykorzystanych przez co najmniej 8-10 godzin dziennie.

Jeśli przepustowość portów lotniczych nie zostanie zwiększona proporcjonalnie do ogólnego wzrostu ruchu lotniczego, lotnictwo ogólne i korporacyjne będzie coraz częściej konkurować o dostęp do przestrzeni powietrznej i infrastruktury z komercyjnymi liniami lotniczymi. W związku z tym zarówno skutki związane z lotnictwem ogólnym i korporacyjnym, jak i szczególne potrzeby tego sektora, muszą zostać wzięte pod uwagę przy planowaniu i optymalizacji przepustowości, np. w trakcie obecnych dyskusji nad przedstawionym przez Komisję Europejską „Planem działania w zakresie przepustowości, efektywności i bezpieczeństwa portów lotniczych w Europie”.

Rosnące zatłoczenie „na ziemi” oznacza, że w przyszłości więcej portów lotniczych (w tym małych regionalnych) będzie klasyfikowanych jako koordynowane lub z organizacją rozkładów. W ostateczności może to prowadzić do tego, że przydziały czasu na start lub lądowanie w niektórych z tych portów lotniczych będą dostępne dla operatorów, którzy nie obsługują regularnych połączeń, jedynie na zasadzie ad-hoc. Problem ten może być

szczególnie dotkliwy w przypadku tych portów lotniczych, dla których nie istnieje bliska i odpowiednia dla potrzeb operatorów lotnictwa ogólnego i korporacyjnego alternatywa.

Rozwiązanie tych problemów może następować, w postaci:

- lepszego planowania celem optymalizacji wykorzystania istniejącej przepustowości. Obejmuje to eksploatację specjalnych, odciążających pasów startowych oraz obszarów portów lotniczych i lotnisk celem zaspokojenia potrzeb lotnictwa ogólnego i korporacyjnego.
- rozwijania i wdrażania nowoczesnych technologii. Automatyczne systemy informacji meteorologicznych, bezzałogowe usługi ruchu lotniczego, a także globalne systemy nawigacji satelitarnej wykorzystywane w procedurach zarządzania ruchem lotniczym mogłyby okazać się przydatne do celów opłacalnego wykorzystania potencjału lokalnej i regionalnej przepustowości.

Przepustowość portu lotniczego (airport capacity) to podstawowa miara sprawności operacyjnej danego portu. Historycznie istnieje dużo definicji przepustowości / pojemności portu lotniczego. Ogólnie pojęcie to definiowane jest jako maksymalna liczba operacji lotniczych: startów i lądowań umownego statku powietrznego, prowadzonych w ustalonych warunkach ruchu lotniczego, przy płynnej obsłudze pasażerów i cargo (towarów, poczty), w jednostce czasu (z reguły 1 godz.).

Według dokumentu „Manual on Airport Planning” (ICAO Doc 9184) przepustowość portu lotniczego określa maksymalna liczba operacji startów i lądowań umownego statku powietrznego, prowadzonych w ustalonych warunkach ruchu lotniczego przy płynnej obsłudze pasażerów, cargo i poczty, w jednostce czasu.

1. PROBLEMATYKA PROCESU STARTU I LĄDOWANIA

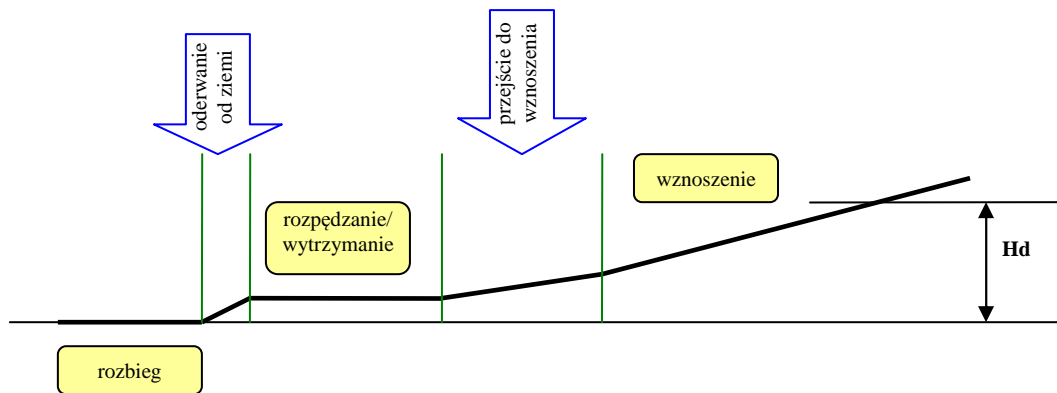
W strukturze lotniska wyróżnia się część lotniczą lotniska, tj. obszar trwale przeznaczony do startów i lądowań samolotów wraz z urządzeniami służącymi do obsługi tego ruchu, do którego dostęp jest kontrolowany, lotnicze urządzenia naziemne, czyli urządzenia instalowane dla potrzeb bezpiecznej nawigacji samolotów oraz scentralizowaną infrastrukturę lotniskową, do której zalicza się urządzenia i obiekty wykorzystywane do obsługi naziemnej samolotów.

W części lotniczej lotniska wyróżnia się m.in.:

- **pole naziemnego ruchu lotniczego** - część lotniska wykorzystywaną do startów, lądowań i naziemnego ruchu samolotów, obejmującą pole manewrowe i płyty postojowe (powierzchnie wyznaczone na lotnisku lądowym, na której samoloty zatrzymują się w celu przyjmowania pasażerów, załadunku i wyładunku towarów i poczty, tankowania paliwa, postoju i obsługi),
- **pole manewrowe** - część lotniska wykorzystywana do startów, lądowań i naziemnego ruchu samolotów, obejmująca pole wzlotów i drogi kołowania (droga na lotnisku lądowym wyznaczona do kołowania samolotów, łącząca części lotniska), ale nie obejmująca płyt postojowych,
- **pole wzlotów** - część pola naziemnego ruchu lotniczego przeznaczona do startów i lądowań samolotów, obejmująca pasy dróg startowych (powierzchnia obejmująca drogę startową i ewentualne zabezpieczenie przerwane startu „SWY”, zmniejszająca ryzyko uszkodzenia samolotu, który wykołował poza drogę startową oraz zabezpieczająca samoloty przelatujące nad tą powierzchnią w czasie operacji startów i lądowań).

Start jest szeregiem operacji przejścia samolotu ze stanu spoczynku do lotu (osiągnięcia wysokości **H_d**), wśród których można wyróżnić (rys. 1) rozbieg, oderwanie od ziemi,

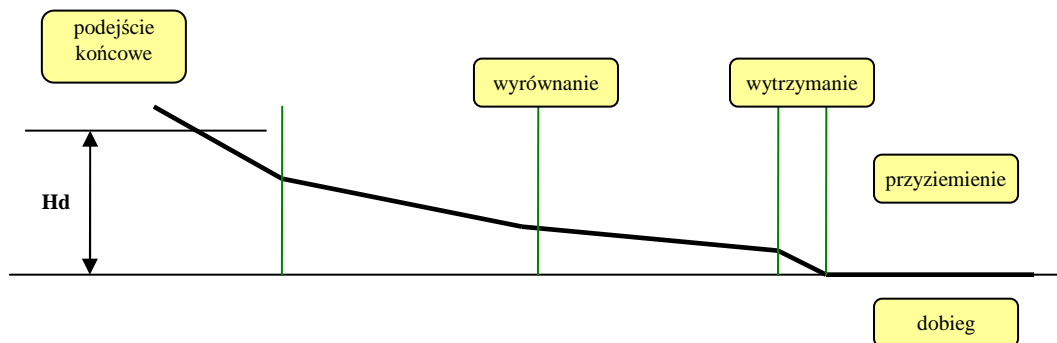
rozpędzanie, przejście do wznoszenia, wznoszenie. Faza startu rozpoczyna się na płycie postojowej od uruchomienia silników i rozpoczęcia operacji kołowania, następnie po uzyskaniu zezwolenia na start samolot rozpędza się, przechodząc w stan wznoszenia kontynuowany w Strefie Kontrolowanej Lotniska CTR (operacje startu i wznoszenia).



Rys. 1. Faza startu

Źródło: Opracowanie własne

Natomiast na lądowanie składają się operacje pozwalające na przejście samolotu z lotu w stan spoczynku na ziemi (rys. 2.). Wśród tych operacji należy wymienić podejście końcowe do lądowania, wyrównanie, wytrzymanie, przyziemienie oraz dobieg (w tej fazie lądowania możliwe jest odwrócenie kierunku ciągu w celu skrócenia dobiegu).

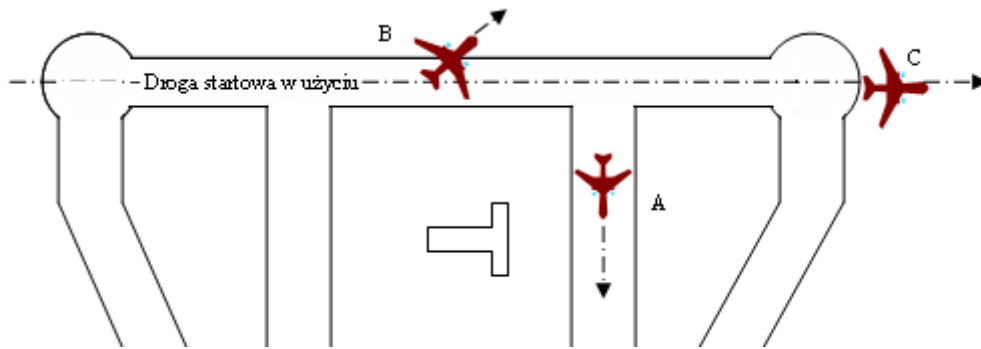


Rys. 2. Faza lądowania

Źródło: opracowanie własne

Ze względu na ograniczoną widoczność z kabiny pilota istotnym zagadnieniem operacji naziemnych jest kontrola kołujących statków powietrznych. W celu zwiększenia przepustowości, statki powietrzne mogą otrzymywać pozwolenia na kołowanie po drodze startowej w użyciu, pod warunkiem, że operacja ta nie spowoduje opóźnień w ruchu i niebezpieczeństwa kolizji z innymi statkami powietrznymi.

Ważną rolę odgrywa odpowiednie pozycjonowanie statków powietrznych oczekujących na start. Istotne jest aby statek oczekiwał na start w odpowiedniej odległości od drogi startowej w użyciu. Zgodnie z zasadą pierwszeństwa, odlatujący statek powietrzny nie powinien otrzymać zezwolenia na rozpoczęcie startu, dopóki poprzedzający go odlatujący statek powietrzny nie minie końca drogi startowej lub nie zaczął zakrętu albo wszystkie uprzednio lądujące statki nie opuszczą drogi startowej (rys. 3).



Rys. 3. Separacja między statkami startującymi a lądującymi

Źródło: www.atac.com

Przedstawiona na rys. 3. sytuacja ukazuje pozycje krańcowe, jakie musi zająć statek A, który wylądował lub odlatujący statek B albo C, zanim statek powietrzny przylatujący może otrzymać pozwolenie na miniecie tej samej drogi startowej.

Minima separacji dla statków odlatujących mogą być inne i ustalane przez upoważniony państwowy organ ruchu lotniczego. W celu zapewnienia płynności przepływu ruchu lotniczego statek powietrzny może uzyskać zezwolenie przed wykołowaniem na drogę startową (bez zatrzymania) na wykonanie natychmiastowego startu.

Podobnie jak w przypadku operacji statków odlatujących, statek lądujący nie powinien otrzymać zezwolenia na miniecie progu drogi startowej podczas swego podejścia końcowego gdy statek powietrzny odlatujący nie minie końca drogi startowej lub też nie zacznie zakrętu w drogę kołowania.

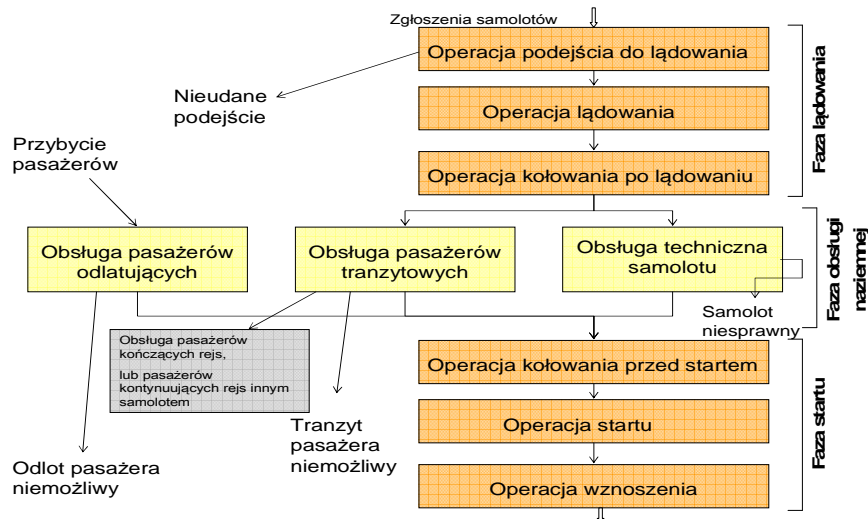
2. PRZEPUSTOWOŚĆ PORTU LOTNICZEGO A PŁYNNOŚĆ RUCHU

Wielkość ruchu lotniczego to liczba statków powietrznych wchodzących w przestrzeń wydzieloną (sektor kontroli) w jednostce czasu. Dopuszczalną, maksymalną wielkość ruchu lotniczego określamy jako deklarowaną pojemność badanej wydzielonej przestrzeni powietrznej (DCA). W praktyce kontroli ruchu lotniczego przyjęto określanie deklarowanej pojemności sektora kontroli jako liczby statków powietrznych, które mogą bezpiecznie wejść w sektor w jednostce czasu (godzinie) i zostać bezpiecznie obsłużone.

Deklarowaną pojemność sektora (DCA) definiuje się więc zwykle jako maksymalną wielkość ruchu (zadanego przykładowo funkcją gęstości) w ciągu godziny, którą służby kontroli mogą obsłużyć bezpiecznie. Wielkość ruchu lotniczego wynika z realizowanego planu lotów. Najprostszą miarą intensywności ruchu jest rzeczywista liczba wlotów w sektor w okresach godzinowych – intensywność ruchu lotniczego.

Problem wyznaczania deklarowanej przepustowości sektorów kontroli ATC ma bogatą literaturę. Metody wyznaczania pojemności sektorowej rozwijają się niezależnie w USA (badania i metody inspirowane przez Federalną Agencję Lotniczą FAA) i Europie (badania i metody wprowadzane na zlecenie EUROCONTROL). Podział wynika z różnej organizacji przestrzeni powietrznej ale również ze względów politycznych. We wszystkich krajach członkowskich EUROCONTROL stosowana jest obecnie metoda symulacyjnego szacowania pojemności sektorów kontroli ATC w zależności od obciążenia pracą kontrolera ruchu lotniczego metoda (grupa metod) CAPAN (ATC Capacity Analyser Tool – narzędzia analizy pojemności sektora ATC).

Następstwo zdarzeń kolejnych operacji w ruchu statków powietrznych w pobliżu portu lotniczego oraz na jego płytach manewrowych i postojowych przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Ogólny schemat następstwa zdarzeń operacji obsługi ruchu lotniczego i pasażerów w rejonie portu lotniczego

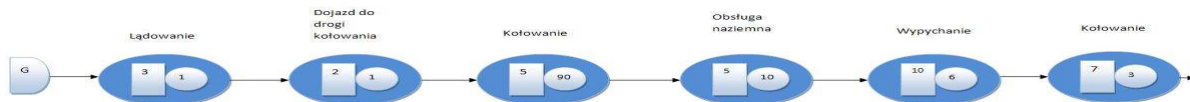
Źródło: [3], str. 206

3. ANALIZA PRZEPUSTOWOŚCI SYSTEMU OBSŁUGI OPERACJI LOTNISKOWYCH W UJĘCIU SMO

3.1 Przepustowość dla operacji startu i lądowania

Dla opisu struktury sieci faz procesu (będących węzłami tej struktury) korzystamy z aparatu teorii masowej obsługi (SMO), w której wyróżniamy strumień zgłoszeń jednostek transportowych do kolejnej fazy obsługi, miejsce oczekiwania jednostek transportowych (poczekalnię) na obsługę w kolejnej fazie obsługi, stanowisko (stanowiska) obsługi w tej fazie obsługi oraz strumień obsłużonych jednostek transportowych, [1], [2]. Korzystając z programu „MOSTRAN”¹ dokonano analizy przepustowości dla operacji lotniskowych.

Aby dokonać analizy przepustowości dla operacji startu i lądowania wyróżniono następujące czynności: lądowanie, dojazd do drogi kołowania, kołowanie, obsługę naziemną, wypychanie, kołowanie. Każdą z tych czynności zapisano w postaci prostego systemu masowej obsługi (SMO), rys. 5.



Rys. 5. Przepustowość dla operacji Startu i Lądowania w ujęciu SMO

Źródło: Opracowanie własne

W tabeli 1. zestawiono wyniki symulacji sieci po 31 dobach dla operacji startu i lądowania.

¹ Program udostępniony z Zakładu Logistyki i Systemów Transportowych

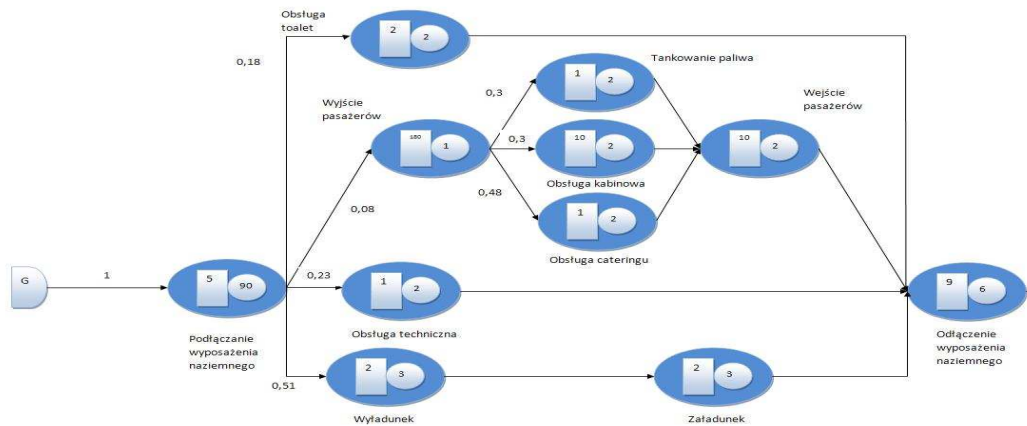
Tabela 1. Wyniki obliczeń dla operacji startu i lądowania

Numer stanowiska	średni czas następstwa na wejściu	średni czas następstwa na wyjściu	współczynnik wykorzystania stanowiska
Stanowisko 1	59.81	59.82	0.0668
Stanowisko 2	59.82	59.83	0.2483
Stanowisko 3	59.83	59.84	0.0011
Stanowisko 4	59.84	59.75	0.0102
Stanowisko 5	59.83	59.85	0.0314
Stanowisko 6	59.85	59.87	0.0510

Źródło: opracowanie własne

3.2 Przepustowość dla operacji naziemnych

Aby dokonać analizy przepustowości dla operacji naziemnych wyróżniono następujące czynności: połączenie wyposażenia naziemnego, wyjście pasażerów, obsługę techniczną, obsługę toalet, tankowanie paliwa, obsługę kabinową, obsługę cateringową, wejście pasażerów, wyladunek, załadunek, odłączenie wyposażenia naziemnego. Każdą z tych czynności zapisano w postaci prostego systemu masowej obsługi (SMO), rys. 6. W tabeli 2. zestawiono wyniki obliczeń dla operacji naziemnych



Rys. 6. Przepustowość dla operacji naziemnych w ujęciu SMO

Źródło: Opracowanie własne

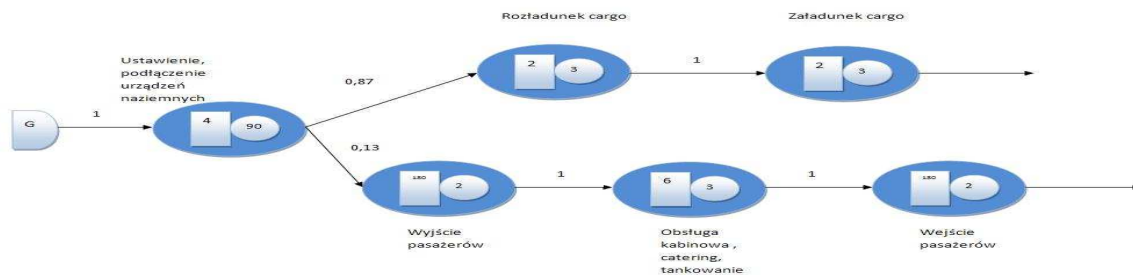
Tabela 2. Wyniki obliczeń dla operacji naziemnych

Numer stanowiska	średni czas następstwa na wejściu	średni czas następstwa na wyjściu	współczynnik wykorzystania stanowiska
Stanowisko 1	49.35	54.42	0.0002
Stanowisko 2	397.05	397.15	0.0123
Stanowisko 3	627.34	627.44	0.0045
Stanowisko 4	259.25	259.27	0.0157
Stanowisko 5	117.70	117.73	0.0420
Stanowisko 6	1782.92	1782.00	0.0018
Stanowisko 7	2183.83	2184.94	0.0019
Stanowisko 8	1509.43	1509.68	0.0029
Stanowisko 9	627.46	627.59	0.0074
Stanowisko 10	117.73	117.74	0.0171
Stanowisko 11	61.00	61.01	0.0193

Źródło: Opracowanie własne

4.3. Przepustowość dla operacji płytowych

Aby dokonać analizy przepustowości dla operacji płytowych wyróżniono następujące czynności: ustawienie podłączenie urządzeń naziemnych, rozładunek cargo, załadunek cargo, wyjście pasażerów, obsługę kabinową, catering, tankowanie, wejście pasażerów. Każdą z tych czynności zapisano w postaci prostego systemu masowej obsługi (SMO), rys. 7. W tabeli 3. zestawiono wyniki obliczeń dla operacji płytowych.



Rys. 7. Przepustowość dla operacji płytowych w ujęciu SMO

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 3. Wyniki obliczeń dla operacji płytowych

Numer stanowiska	średni czas następstwa na wejściu	średni czas następstwa na wyjściu	współczynnik wykorzystania stanowiska
Stanowisko 1	60.78	60.70	0.0007
Stanowisko 2	71.16	71.20	0.0675
Stanowisko 3	413.09	413.12	0.0068
Stanowisko 4	71.20	71.22	0.0299
Stanowisko 5	413.12	413.31	0.0095
Stanowisko 6	413.31	413.32	0.0114

Źródło: Opracowanie własne

4. WSPOMAGANIE NAZIEMNYCH OPERACJI LOTNISKOWYCH Z WYKORZYSTANIEM APLIKACJI KOMPUTEROWEJ TRASLOT

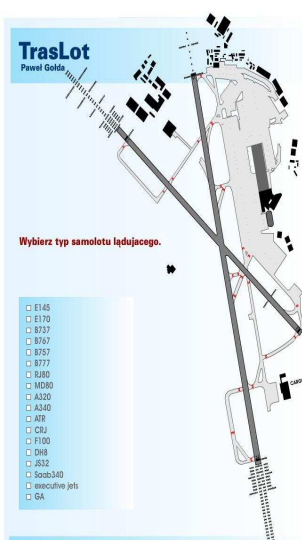
Wyznaczenie drogi kołowania statku powietrznego może być wspomagane przez zastosowanie pakietu komputerowego TrasLot. Aplikacja komputerowa została napisana w języku ActionScript 2. Dane które należy wprowadzić dotyczą typu statku powietrznego, kierunku startu lub lądowania statku powietrznego oraz wyboru jego miejsca postoju. Przeprowadzone obserwacje na przykładzie służby „Follow Me” pozwoliły na stwierdzenie, że największe opóźnienia na płycie generowane są przez samoloty, które nie trafiły w odpowiednią drogę szybkiego zjazdu i przeokołowały kolejnym zjazdem krążąc później po płycie lotniska. Program, można wykorzystać jako wspomaganie kontroli nad ruchem samolotów po płycie lotniska Warszawa-Okęcie.

Realizowana modyfikacja programu ma na celu wspomaganie kontroli nad oświetleniem kierującym samolot na miejsce postoju oraz przedstawienia rzutu płyty lotniska z wyznaczoną drogą na pulpit samolotu. Obecna technika pozwala na opracowanie systemu, który sprawowałby kontrolę nad ruchem pojazdów na płycie lotniska.

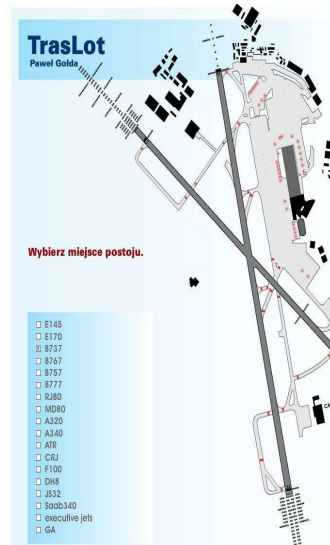
Na rys. 8. zostało zaprezentowane działanie opracowanego programu TrasLot. Zaproponowana aplikacja pozwala na wybór statku powietrznego, który może być obsługiwany na płycie lotniska Warszawa-Okęcie. Po dokonaniu wyboru podświetlają się miejsca, w których można umieścić samolot danego typu. Nie są to miejsca jednakowe dla wszystkich samolotów.

Umieszczenie samolotu obrazuje podświetlenie stanowiska z jego numerem. Następnie należy określić pas i kierunek z którego ląduje dany samolot. Odbywa się to przez kliknięcie na wcześniej podświetlone cztery strzałki. Po kliknięciu należy wyznaczyć miejsce zjazdu samolotu daną drogą szybkiego zjazdu.

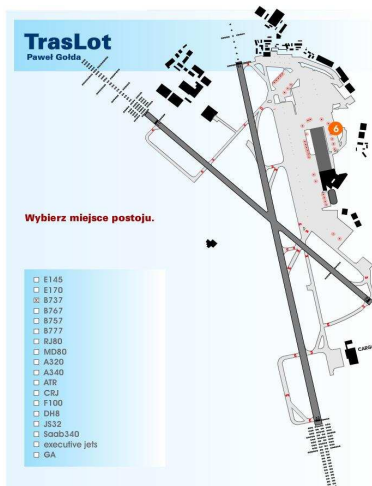
Kolejnym etapem jest wyznaczenie drogi do wcześniej zadanego miejsca postoju statku powietrznego. Program może zostać rozwinięty do poziomu w którym będzie gromadził dane o miejscach zajętych i zwolnionych. Zatem może on sprawować kontrolę nad ruchem samolotów po płycie lotniska. Komunikacja może odbywać się za pomocą oświetlenia lub przy pomocy przesyłania informacji graficznych bezpośrednio na pulpit statku powietrznego odbywającego ruch w przestrzeni i na płycie lotniska Warszawa-Okęcie.



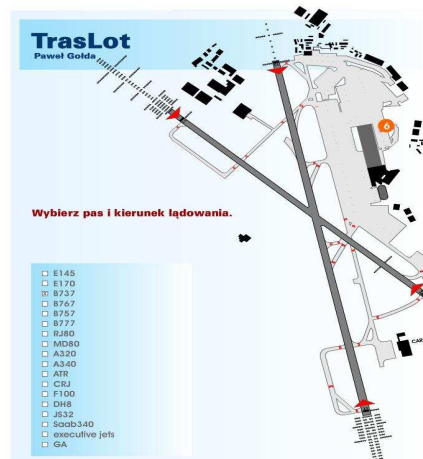
a) Modułu wyboru typu samolotu lądującego.



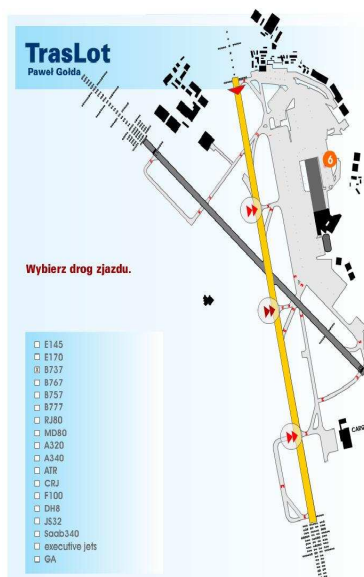
b) Moduł wyboru miejsca postoju.



c) Moduł wyboru miejsca postoju.



d) moduł wyboru pasa i kierunku lądowania



e) Moduł wyboru drogi zjazdu.



f) moduł wyznaczenia drogi dojazdu.

Rys. 8. Maska ekranu aplikacji komputerowej dla wybranych modułów

Źródło: Opracowanie własne

5. WNIOSKI

Przepustowość portu lotniczego jest podstawową miarą sprawności (wydajności) operacyjnej portu lotniczego. Do wyznaczenia wartości przepustowości konieczna jest znajomość takich parametrów portu lotniczego jak: liczba i układ stanowisk postojowych, parametry terminali pasażerskich (schematy funkcjonalne): check-in, kontrola bezpieczeństwa, kontrola paszportowa, przewidywany wzrost wielkości ruchu oraz parametrów pola wlotów (liczba, kierunki i wymiary dróg startowych, drogi szybkiego zjazdu), ukształtowanie pola manewrowego (liczba i układ dróg kołowania). Ponadto niezbędna jest znajomość poziomu (kategoria) oprzyrządowania nawigacyjnego oraz procedur lotniskowe Służb Kontroli Ruchu Lotniczego.

Do analizy przepustowości portu lotniczego można wykorzystać teorię masowej obsługi. Każda z operacji: operacje startu i lądowania, operacje naziemne i operacje płytowe można przedstawić w postaci sieci prostych systemów masowej obsługi.

Zastosowanie wspomaganie komputerowego w postaci aplikacji TrasLot wspomaga

- proces startowania statków powietrznych;
- proces lądowania statków powietrznych;
- ruch statków powietrznych po płycie lotniska.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Jacyna M.: *Modelowanie i ocena systemów transportowych*. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2009
- [2] Leszczyński J.: *Modelowanie systemów i procesów transportowych*. OWPW, Warszawa 1994.
- [3] Malarski M., Stelmach A.: *Problemy zrównoważonego zwiększenia przepustowości portów lotniczych w Polsce*. OWPW, z. 62, Warszawa 2007.
- [4] Manerowski J.: *Identyfikacja modeli dynamiki ruchu sterowanych obiektów latających*. ASKON, Warszawa 1999.

IDENTIFICATION OF DISRUPTIONS IN MATERIAL FLOWS

Abstract:

The article is the result of ongoing work on implementation of systems supporting the operation of aircraft. The subject of the article is to present the capabilities of current computer systems and the extent of their use to support decision problems. The article proposes modification of the selected computer system having technological innovations used in air transport to remove the weak links identified in the system. The result is to improve the aircraft operations

Key words: airport capacity, the movement of aircraft, aircraft taxiways