

**Jacek Skorupski, Magdalena Wierzińska**

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

## **PROBLEM ZAKŁÓCEŃ W RUCHU LOTNICZYM SPOWODOWANYCH SPÓŹNIONYMI PASAŻERAMI**

Rękopis dostarczono, kwiecień 2013

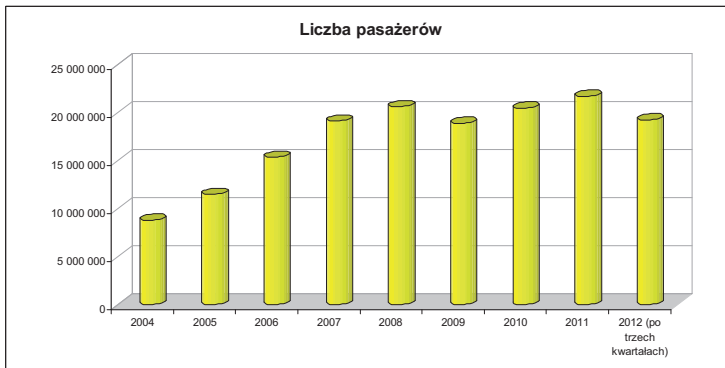
**Streszczenie:** Opóźnienia i zakłócenia w ruchu lotniczym mają różne przyczyny, na przykład techniczne, operacyjne, środowiskowe. Jedną z nich jest zachowanie pasażerów. W niniejszej pracy podjęto problem opóźnień generowanych przez pasażerów, którzy nadali swój bagaż rejestrowany, a nie zgłosili się do wyjścia do samolotu. W takiej sytuacji pojawia się problem decyzyjny - jak długo oczekiwać na spóźnionego pasażera. Oczekiwanie generuje opóźnienie startu a tym samym koszty. Z drugiej strony decyzja o odlocie mimo niestawienia się pasażera pociąga za sobą konieczność odnalezienia i wyładowania jego bagażu rejestrowanego, co również powoduje opóźnienie odlotu i koszty. W pracy przedstawiono model tej sytuacji decyzyjnej oraz sformułowano zadanie optymalizacyjne odpowiednio do modelu sytuacji decyzyjnej. Zaproponowano rozwiązanie postawionego problemu przy wykorzystaniu metody Programowania Dynamicznego. Ważnym elementem tego zadania optymalizacyjnego jest oszacowanie czasu poszukiwania i rozładunku bagażu należącego do nieobecnego pasażera. Zagadnienie to będzie przedmiotem dalszych prac, w chwili obecnej zaproponowano jego rozwiązanie poprzez zastosowanie teorii zbiorów rozmytych.

**Słowa kluczowe:** opóźnienia w ruchu lotniczym, problemy decyzyjne w transporcie, programowanie dynamiczne

### **1. WPROWADZENIE**

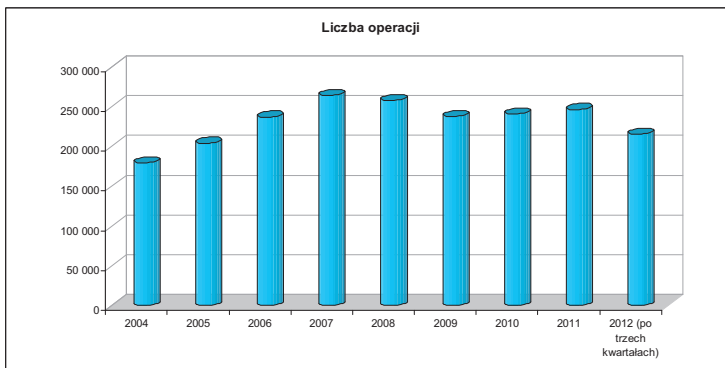
Transport lotniczy w ostatnich latach staje się coraz powszechniejszym i coraz bardziej popularnym sposobem przemieszczania pasażerów i ładunków. Mimo różnych przeszkód i problemów notuje w ostatnich latach wzrost wielkości przewozów i jest uznawany za najszybciej rozwijającą się gałąź transportu na świecie.

Z analiz statystycznych ICAO wynika [5], że udział Europy w rynku lotniczym świata jest bardzo wysoki, co oczywiście przekłada się na rozwój tego sektora także w Polsce. Można go przedstawić porównując liczbę obsłużonych pasażerów oraz wykonanych operacji handlowych w polskich portach lotniczych na przestrzeni ostatnich lat.



Rys. 1. Liczba obsłużonych pasażerów w polskich portach lotniczych w latach 2004-2012 [14]

Na podstawie rys. 1 można zauważyć, że w latach 2004-2008 liczba pasażerów wzrosła ponad dwukrotnie – z 8 834 912 w 2004 roku do 20 628 851 w roku 2008. W 2009 roku obserwujemy niewielki spadek, którego przyczyną był globalny kryzys ekonomiczny. Jednak w kolejnych latach znów obserwujemy wzrost liczby obsłużonych pasażerów i po trzech kwartałach 2012 roku, liczba ta jest zaledwie o 2,5 mln pasażerów niższa niż w roku 2011. Można więc spodziewać się, że rok 2012 także będzie lepszy od poprzedniego pod względem liczby przewiezionych pasażerów.



Rys. 2. Liczba operacji w polskich portach lotniczych w latach 2004-2012 [14]

Największy przyrost wykonanych operacji lotniczych miał miejsce w latach 2004-2007, kiedy zanotowano wzrost o prawie 50%, z 179 321 do 263 965 (rys. 2). Podobnie jak w przypadku liczby pasażerów, w kolejnych latach obserwujemy niewielki spadek liczby wykonanych operacji, co także było spowodowane kryzysem ekonomicznym. O wzroście popularności transportu lotniczego w Polsce może świadczyć także to, że w ciągu zaledwie jednego roku (2012), zostały otwarte dwa nowe lotniska – Warszawa Modlin oraz Lublin Świdnik. Obecnie na terenie Polski funkcjonuje jeden krajowy port lotniczy – Lotnisko Chopina w Warszawie oraz 12 portów regionalnych, obsługujących regularne loty

pasażerskie. Oprócz portu lotniczego Zielona Góra – Babimost, wszystkie pozostałe są portami o znaczeniu międzynarodowym.

## 2. PROBLEM SPÓŹNIONYCH PASAŻERÓW

Jednym z zagrożeń dla sprawnej i punktualnej obsługi pasażerów są sami pasażerowie. Spóźnienie pojedynczych podróżnych powoduje opóźnienie odlotu statku powietrznego, a w konsekwencji straty w różnych obszarach systemu transportowego. Składają się na nie:

- poczucie niższego komfortu obsługi u pasażerów,
- straty pasażerów wynikające z utraconych połączeń,
- problemy w realizacji wszystkich zaplanowanych w ciągu doby rejsów,
- straty dla przewoźników wynikające z ich obowiązków wobec pasażerów, którzy oczekują dłuższy czas na odlot, czy nawet wobec załóg, które podlegają ograniczeniom czasu pracy,
- kłopoty podmiotu zarządzającego lotniskiem, wynikające z dłuższego niż zaplanowano zajmowania stanowiska postojowego (zwłaszcza w przypadku pomostów pasażerskich),
- problemy w organizacji ruchu lotniczego w przestrzeni, wynikające z konieczności zmiany planów lotu, ponownej koordynacji ruchu i uzyskiwania zezwoleń kontroli.

Przyczyny opóźnień pasażerów na boarding są rozmaite. Najczęstszą z nich jest zbyt późne przybycie pasażera na teren lotniska spowodowane czynnikami niezwiązanymi z procesami obsługi pasażerów. Jeżeli pasażer przybędzie na lotnisko dwie godziny przed planowanym odlotem, jak sugerują przewoźnicy oraz obsługa lotniska, wówczas czas na dokonanie wszystkich niezbędnych czynności składających się na proces odprawy i kontroli danej osoby i jej bagażu jest zazwyczaj wystarczający. Punkt odprawy biletowo bagażowej dla danego lotu jest jednak otwarty do około 40 minut przed planowanym odlotem samolotu. W przypadku, gdy pasażer znacząco opóźni swoje przybycie na lotnisko i w ostatniej chwili dokona odprawy biletowo bagażowej, powinien liczyć się z możliwością spóźnienia na boarding. Może bowiem spotkać się z sytuacją spiętrzenia podróżnych oczekujących na kontrolę bezpieczeństwa, co zdarza się dość często i z różnych przyczyn. Na przykład w tym samym czasie kontrolę przechodzi duża grupa osób lecących na wakacje z biurem podróży (zwykle do stanowisk kontroli podchodzą wszyscy razem). Spowodować to może wydłużenie czasu oczekiwania na kontrolę bezpieczeństwa, co w konsekwencji może spowodować niezjawienie się na czas przy wyjściu do samolotu.

Nawet jeśli jeden pasażer jest dobrze przygotowany do kontroli bezpieczeństwa (nie ma żadnych zabronionych przedmiotów w bagażu podręcznym oraz metalowych przedmiotów przy sobie), inni pasażerowie mogą nie być tak zdyscyplinowani. Bardzo często zdarza się, że osoba zostaje kilkakrotnie poproszona na przykład o ponowne przejście przez bramkę wykrywającą metale lub o otwarcie bagażu podręcznego. Każda z tych czynności trwa od kilku sekund do kilku minut.

Terminale na polskich lotniskach są nieduże i mają bardzo prostą budowę. Dlatego też czas przebycia drogi do odpowiedniego wyjścia jest stosunkowo krótki, a prawdo-

podobieństwo zgubienia się jest niewielkie. Na świecie są jednak porty lotnicze, których terminale zajmują ogromną powierzchnię. Układ architektoniczny tych obiektów często tworzy bardzo skomplikowane struktury geometryczne (np. na lotnisku Charles de Gaulle w Paryżu). Przemieszczenie się od wejścia do hali odlotów do właściwego punktu odprawy biletowo bagażowej, po odprawie do stanowisk kontroli bezpieczeństwa, a następnie do właściwego wyjścia, może zająć od kilkunastu do kilkudziesięciu minut, nawet gdy podróżny zna drogę. Jeśli źle oszacuje czas potrzebny na dotarcie do wyjścia do samolotu lub okaże się, że samolot odlatuje z innego niż wcześniej zostało ustalone, istnieje duże prawdopodobieństwo, że będzie on za krótki, aby dotrzeć na miejsce punktualnie. Wielu podróżnych przebywających na terenie terminala, nie zna dokładnie jego planu i poruszanie się po nim, może sprawić wiele trudności.

Obecnie większość terminali przypomina ogromne galerie handlowe, gdzie lokalizacje mają sklepy, bary czy też restauracje. Wielu podróżnych korzysta z okazji, by w ostatniej chwili kupić jeszcze kilka pamiątek lub artykułów spożywczych do samolotu. Pochłonięci zakupami, często nie zauważają upływu czasu. Zazwyczaj w sklepach jest dość głośno i bardzo łatwo niedosłyszeć komunikatów obsługi o zbliżającym się końcu boardingu lub zmianie wyjścia na inne niż planowano. Dodatkowy problem może stwarzać niezajomość języka, w którym wygłaszane są komunikaty. Zdarza się także, że pasażerowie postanawiają odpocząć po wyczerpującym dniu lub właśnie odbytym locie i zasypiają czekając na boarding. Powszechnie jest, zwłaszcza u młodych ludzi, słuchanie muzyki przez słuchawki, często bardzo głośno. W powyższych sytuacjach, szanse na usłyszenie komunikatów wzywających na pokład samolotu są bardzo małe.

Występują również sytuacje losowe, niezależne od tego jak bardzo podróżni są uważni i jak dobrze przygotowani do lotu. Nagła choroba, zasłabnięcie, czy chociażby zatrzęsnięcie drzwi w toalecie. Takich sytuacji nie można przewidzieć, a kiedy się wydarzą, mogą spowodować spóźnienie pasażera lub wręcz niedotarcie do samolotu.

W literaturze można znaleźć liczne analizy, których celem jest opracowanie metod zmierzających do racjonalizacji procesu obsługi pasażerów i tym samym zmniejszenia opóźnień wynikających z tego procesu. W ważnej pracy [12] zaproponowano model procesu boardingu pasażerów z uwzględnieniem ich indywidualnych właściwości, który następnie zastosowano do oceny trzech strategii boardingu: losowej, opartej na numerze miejsca oraz na indywidualnych cechach pasażera.

W niniejszej pracy, realizowanej w ramach przygotowywanej rozprawy doktorskiej, zostanie dokonana analiza problemu spóźnionych pasażerów w kontekście technologii obsługi bagażu. Przedstawione zostaną dwa problemy decyzyjne, przed którymi stają służby odpowiedzialne za sprawne i punktualne dostarczenie pasażerów i bagażu na pokład samolotu oraz przewoźnicy lotniczy. Pierwszy problem decyzyjny polega na określeniu czasu oczekiwania na spóźnionego pasażera. Podjęcie decyzji o zakończeniu oczekiwania skutkuje koniecznością usunięcia bagażu rejestrowanego z luku bagażowego samolotu [9]. Operacja ta wiąże się z dodatkowymi kosztami i dodatkowym zwiększeniem opóźnienia. Drugi problem decyzyjny polega na określeniu sposobu rejestrowania miejsca gdzie znajduje się bagaż poszczególnych pasażerów, tak aby wyżej wymieniona procedura usunięcia bagażu mogła przebiegać jak najsprawniej (w jak najkrótszym czasie).

W odniesieniu do pierwszego problemu decyzyjnego proponujemy wykorzystanie metody Programowania Dynamicznego (PD) do określenia optymalnego czasu oczekiwania na spóźnionego pasażera. W odniesieniu do problemu drugiego proponujemy

wykorzystanie metod wnioskowania rozmytego, przy użyciu których oszacujemy prawdopodobieństwo lokalizacji bagażu w określonym miejscu w luku bagażowym na przykład w zależności od momentu jego odprawy.

### **3. PROCES TECHNOLOGICZNY OBSŁUGI BAGAŻU W PORCIE LOTNICZYM**

Odprawa biletowo-bagażowa (ang. check-in), zazwyczaj jest pierwszą procedurą, z jaką spotyka się pasażer po przybyciu na lotnisko. Przepisy wymuszają na podróżnym odprawienie się w określonym czasie przed lotem. Wynosi on od 15 minut do 4 godzin, w zależności od kraju przeznaczenia oraz przewoźnika lotniczego. Głównym zadaniem tego procesu jest przyjęcie przez przewoźnika bagażu, który później ma znaleźć się w luku bagażowym samolotu oraz wydanie pasażerowi karty pokładowej. W trakcie odprawy podróżny zobowiązany jest okazać pracownikowi obsługi pasażerskiej dokument tożsamości, a czasem też potwierdzenie zakupienia biletu. Po sprawdzeniu poprawności wszystkich danych, pasażer umieszcza na wadze bagaż przeznaczony do rejestracji. Jeśli limit wagi nie został przekroczony, bagaż zostaje oznakowany kodem kreskowym identyfikującym destynację oraz pasażera, a podróżny otrzymuje kartę pokładową, uprawniającą do wejścia na pokład samolotu. Na karcie pokładowej znajduje się wiele ważnych informacji, między innymi: imię i nazwisko pasażera, numer lotu, numer bramki wyjściowej, godzina rozpoczęcia boardingu, czy numer miejsca w samolocie. Do karty pokładowej dołączana jest także informacja o tym, że pasażer posiada bagaż rejestrowany [9]. Od tego momentu podróżny nie ma kontaktu ze swoim bagażem, aż do chwili odbioru na lotnisku przeznaczenia. W tym czasie bagaż jest obsługiwany przez system BHS (ang. Baggage Handling System). System ten ma za zadanie przetransportowanie bagażu od stanowiska odprawy do właściwego samolotu, z samolotu do innego samolotu, jeśli lot odbywa się z przesiadką, a na lotnisku docelowym – z samolotu do hali odbioru bagażu.

Podstawową funkcją systemu BHS jest transport bagażu, jednak równie ważnym zadaniem jest upewnienie się, że trafi on do właściwego miejsca na lotnisku, dlatego BHS odpowiedzialny jest także za sortowanie bagażu [13]. Proces ten zazwyczaj jest w pełni zautomatyzowany, a na system składa się ciąg taśm przesuwających bagaż z hali odlotów do sortowni, gdzie znajdują się urządzenia skanujące nalepki na bagażach i na podstawie zeskanowanych danych, kierują go w odpowiednie miejsce. Dla zapewnienia bezpieczeństwa, wszystkie bagaże powinny zostać sprawdzone pod kątem zawartości materiałów wybuchowych, substancji łatwopalnych i toksycznych. Żaden bagaż nie powinien zawierać wyżej wymienionych przedmiotów, w przeciwnym wypadku nie może być przetransportowany na pokład samolotu bezpośrednio z systemu BHS. Dlatego też do systemu BHS dołącza się system EDS (ang. Explosives Detection System), który składa się z urządzeń realizujących procedury pozwalające na wykrycie materiałów niebezpiecznych [1].

## 4. ANALIZA CZASU OCZEKIWANIA NA SPÓŹNIONEGO PASAŻERA

Od wielu lat samoloty stawały się obiektem ataków terrorystycznych, w których ginęło wiele osób. Zdarzało się tak, że terrorysta odprawiał bagaż, w którym znajdowała się bomba, sam jednak nie wsiadał do samolotu. Aby zapobiec takim sytuacjom i zwiększyć bezpieczeństwo, przeprowadza się szczegółową kontrolę zarówno pasażerów jak i ich bagażu. Technologia jednak idzie naprzód i mogą powstawać bomby, które coraz trudniej wykryć. Przyjęto więc zasadę, że gdy pasażer nie stawia się do wyjścia do samolotu, jego odprawiony bagaż zostaje usunięty z samolotu [8]. Już samo oczekiwanie na spóźnionego pasażera może spowodować opóźnienie lotu. Im dłużej czeka się na pasażera i wzywa go na pokład samolotu prawdopodobieństwo tego, że się pojawi, rośnie. Kiedy jednak okazuje się, że pasażera nie ma, trzeba uruchomić procedurę odszukiwania bagażu. Do czasu oczekiwania dochodzi więc jeszcze czas poświęcony na usunięcie bagażu, który znajduje się w luku bagażowym, a opóźnienie rośnie. Może to skutkować spóźnieniem się niektórych pasażerów na kolejny lot, jeśli podróżują z przesiadką, na spotkanie biznesowe, na które właśnie lecą, jak również zwiększaniem się opóźnienia samolotu, z którego wyładowywano bagaż, na lotniskach kolejnych jego destynacji. Może to w konsekwencji doprowadzić do niemożliwości zrealizowania całości rotacji oraz przekroczenia normatywnego czasu pracy załogi, co wymaga jej wymiany.

### 4.1. MODEL SYTUACJI DECYZYJNEJ DO WYZNACZANIA OPTYMALNEGO CZASU OCZEKIWANIA NA PASAŻERA

Oznaczmy przez  $t_z$  nominalny czas zakończenia odprawy pasażerów przy bramce wyjściowej do samolotu. Czas ten jest dobrany tak, aby wszyscy pasażerowie mogli zająć swoje miejsca w samolocie, aby możliwe było wykonanie wszelkich czynności przedstartowych (takich jak sprawdzenie zapięcia pasów czy wygłoszenie komunikatów dotyczących zasad bezpieczeństwa) oraz wykonanie procedury kołowania. W analizie założymy, że dla samolotu został określony odpowiedni slot startowy, definiowany przez przedział czasowy  $S^0 = [t_p^0, t_k^0]$ . Istotne jest, aby samolot był w stanie gotowości do wykonania procedury startowej w chwili  $t_g \in S^0$ . Chwilę tę można wyznaczyć następująco:

$$t_g = t_z + d_d + d_o + d_z + d_{TX} \quad (1)$$

gdzie:

$d_d$  - czas potrzebny na dostarczenie pasażerów do samolotu, który jest różny w zależności od użytej technologii: pomostu pasażerskiego, autobusu lub pieszo,

$d_o$  - czas potrzebny na wykonanie czynności przygotowawczych przy otwartych drzwiach samolotu,

$d_z$  - czas wykonywania czynności przygotowawczych przy zamkniętych drzwiach samolotu, jednocześnie zakładamy, że w tym czasie nie jest już możliwe wpuszczenie spóźnionego pasażera,

$d_{TX}$  - czas kołowania na start.

W zależności od aktualnej sytuacji, w tym od istniejącego opóźnienia, niektóre z powyższych czasów mogą się nieco różnić, jednak na obecnym etapie prac przyjmujemy, że czasy te są stałe i minimalne, to znaczy nie można ich skrócić.

Wszyscy pasażerowie, którzy zgłosili się do wyjścia do samolotu przed czasem  $t_z$ , mogą bez przeszkód wsiąść na jego pokład, nie powodując opóźnień ani związanych z tym kosztów.

Jeżeli  $t_k^0 - t_g > 0$  istnieje pewna rezerwa pozwalająca na bezkosztowe przyjęcie na pokład spóźnionego pasażera. Rezerwa ta jest równa

$$r = t_k^0 - t_g \quad (2)$$

Po upływie czasu  $t_z + r$ , w przypadku pojedynczych spóźnionych pasażerów możliwe jest jeszcze przyjęcie ich na pokład bez generowania dodatkowych kosztów, jeżeli chwila ich zgłoszenia  $t_s$  spełnia warunek:

$$t_s + d_d < t_z + r + d_o \quad (3)$$

Oznaczmy przez  $t_0$  chwilę, od której dalsze oczekiwanie na spóźnionego pasażera wiąże się z dodatkowymi kosztami, związanymi ze stratą czasu, o charakterystyce omówionej powyżej. Chwilę  $t_0$  możemy obliczyć ze wzoru

$$t_0 = t_z + r + d_o - d_d \quad (4)$$

Czas począwszy od chwili  $t_0$  będziemy traktować w sposób dyskretny i kolejne chwile czasowe będziemy oznaczać przez  $t_i$ ,  $i = 0, 1, \dots$ . Dla każdej z tych chwil czasowych zdefiniujemy binarną zmienną decyzyjną  $x_i$  przyjmującą wartość 0, jeśli w chwili  $t_i$  postanowiono czekać na spóźnionych pasażerów oraz wartość 1, jeśli w chwili  $t_i$  postanowiono zakończyć czekanie i rozpocząć operację poszukiwania bagażu rejestrowego spóźnionych pasażerów celem wyładowania go z luku bagażowego samolotu.

## 4.2. ZADANIE PROGRAMOWANIA DYNAMICZNEGO DO OKREŚLANIA OPTIMALNEGO CZASU OCZEKIWANIA

Programowanie Dynamiczne jest metodą optymalizacyjną stosowaną zazwyczaj w przypadku cyklicznego podejmowania decyzji o podobnym charakterze w pewnych odstępach czasowych. Metoda ta była z powodzeniem stosowana w wielu złożonych systemach decyzyjnych, w tym w systemach zarządzania ruchem lotniczym. Na przykład w pracy [7] przedstawiono sposób wykorzystania metody Programowania Dynamicznego do rozwiązywania problemu zarządzania przepływem strumieni statków powietrznych

ATFM, a konkretnie do skonstruowania algorytmu dynamicznej zmiany trasy przelotu. W pracy [2] zastosowano metodę Programowania Dynamicznego do określania przepustowości nawigacyjnej portu lotniczego. Natomiast w pracach [10,11] zbadano wpływ zmian przepustowości sektorów na rozwiązanie problemu zarządzania przepływem statków powietrznych oraz zaproponowano algorytm postępowania w przypadku niepewności co do przyszłej przepustowości sektorów kontroli ruchu lotniczego. W obu przypadkach wykorzystano metodę programowania dynamicznego do sformułowania zadania optymalizacyjnego, odpowiednio - w warunkach pewności oraz niepewności.

W analizowanym problemie spóźnionych pasażerów również mamy do czynienia z decyzją podejmowaną w warunkach upływu czasu. Proponujemy zatem sformułowanie zadania PD, które może służyć poszukiwaniu optymalnego czasu oczekiwania na spóźnionego pasażera, przy kryterium optymalizacji polegającym na minimalizacji łącznego czasu opóźnień pasażerów. W dalszych pracach poszukiwane będzie także rozwiązanie tego zagadnienia dla innych kryteriów optymalizacji, takich jak np. kryteria kosztowe (koszt całkowity dla przewoźnika lub koszt średni na pasażera).

Proponujemy następujące sformułowanie problemu PD.

1. Określamy maksymalny horyzont oczekiwania  $T$ . Wielkość ta powinna być zdefiniowana z uwzględnieniem kryteriów organizacyjno-kosztowych. Może wynikać np. z maksymalnego czasu pracy załogi, godzin otwarcia lotniska, czasu, po którym konieczne byłoby odwołanie lotu ze względu na brak możliwości realizacji rotacji itp.
2. Na etapie  $i$ -tym zdecyduj czy w chwili  $t_i$  zakończyć oczekiwanie na spóźnionych pasażerów, to znaczy określ  $x_i$ .
3. Stanem systemu  $y$  jest czas pozostający do końca horyzontu oczekiwania  $T$ .
4.  $f_i(y, x_i)$  - sumaryczny minimalny czas opóźnień pasażerów w chwilach  $t_i, t_{i+1}, \dots, T$ , jeśli czas pozostający do końca horyzontu oczekiwania wynosi  $y$  i podjęto decyzję  $x_i$  określającą czy oczekiwać nadal ( $x_i = 0$ ) czy też zakończyć oczekiwanie i rozpocząć poszukiwanie bagażu nieobecnego pasażera ( $x_i = 1$ ).
5.  $f_i(y)$  - sumaryczny minimalny czas opóźnień pasażerów w chwilach  $t_i, t_{i+1}, \dots, T$ , jeśli czas pozostający do końca horyzontu oczekiwania wynosi  $y$ .
6. Oznaczając przez  $N$  liczbę pasażerów na pokładzie samolotu oraz przez  $\bar{d}_S$  przewidywany średni czas poszukiwania bagażu nieobecnego pasażera, możemy zdefiniować następujące zależności rekurencyjne:

$$f_i(y, x_i) = \begin{cases} (t_{i+1} - t_i) \cdot N + f_{i+1}(y - (t_{i+1} - t_i)), & \text{dla } x_i = 0 \\ (\bar{d}_S + d_o + d_z + d_{TX}) \cdot N, & \text{dla } x_i = 1 \end{cases} \quad (5)$$

$$f_i(y) = \min f_i(y, x_i), \text{ dla wszystkich } x_i \quad (6)$$

7. Poszukujemy  $f_o(T - t_0)$  - minimalnego sumarycznego czasu opóźnień pasażerów w chwilach  $t_0, t_1, \dots, T$ , jeśli do końca horyzontu oczekiwania pozostaje czas  $T - t_0$ .

Zarówno decyzja o oczekiwaniu na pasażera, jak i o rozpoczęciu poszukiwania bagażu może spowodować, że samolot będzie gotowy do startu już po upływie slotu startowego. Dla uwzględnienia tego faktu zdefiniujemy kolejne możliwe sloty startowe  $S^n = [t_p^n, t_k^n]$ , przy czym rozpatrujemy tylko te sloty  $S^n$ , dla których spełniony jest warunek



$$t_p^n \leq T + d_{pr} \quad (7)$$

gdzie  $d_{pr} = d_o + d_z + d_{TX}$  jest czasem przygotowania do startu po zakończeniu procedury oczekiwania na spóźnionego pasażera lub procedury wyładowania bagażu pasażera, który nie stawiał się na boarding.

Dla każdego etapu decyzyjnego  $i$ , możemy zdefiniować funkcję określającą wielkość dodatkowego opóźnienia związanego z przekroczeniem czasu bieżącego slotu startowego. Funkcja ta dana jest wzorem

$$g_i(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{jeśli } (x_i = 0 \wedge \exists n: t_{i+1} + d_{pr} \in S_n) \vee (x_i = 1 \wedge \exists n: t_i + \bar{d}_s + d_{pr} \in S_n) \\ t_p^n - (t_{i+1} + d_{pr}), & \text{jeśli } x_i = 0 \wedge \exists n: t_k^{n-1} \leq t_{i+1} + d_{pr} \leq t_p^n \\ t_p^n - (t_i + \bar{d}_s + d_{pr}), & \text{jeśli } x_i = 1 \wedge \exists n: t_k^{n-1} \leq t_i + \bar{d}_s + d_{pr} \leq t_p^n \end{cases} \quad (8)$$

Ostatecznie zależności rekurencyjne (5) - (6), po uwzględnieniu funkcji (8), przyjmują postać

$$f_i^*(y, x_i) = \begin{cases} (t_{i+1} - t_i + g_i(0)) \cdot N + f_{i+1}(y - (t_{i+1} - t_i + g_i(0))), & \text{dla } x_i = 0 \\ (\bar{d}_s + d_{pr} + g_i(1)) \cdot N, & \text{dla } x_i = 1 \end{cases} \quad (9)$$

$$f_i^*(y) = \min f_i^*(y, x_i), \text{ dla wszystkich } x_i \quad (10)$$

W przyszłych eksperymentach obliczeniowych będziemy wykorzystywać zależności rekurencyjne dane w postaci wzorów (9) - (10).

## 5. PROBLEM LOKALIZACJI BAGAŻU W LUKU BAGAŻOWYM

Bagaż jest ładowany do samolotu na dwa sposoby – układa się go bezpośrednio w luku bagażowym, bądź jest wkładany do kontenerów, które następnie umieszcza się w kadłubie samolotu. Położenie konkretnej sztuki bagażu nie jest znane, dlatego w przypadku konieczności odszukania i wyjęcia jednej walizki, często trzeba wyładować ich bardzo wiele, aby znaleźć właściwą. Oczywiście po odnalezieniu właściwego bagażu, wszystkie pozostałe trzeba znów załadować do samolotu. Proces ten jest bardzo czasochłonny i powoduje wydłużenie czasu przebywania samolotu na lotnisku, a co za tym idzie – większe koszty oraz niezadowolenie pasażerów.

Usunięcie bagażu z samolotu odbywa się jednak nie tylko w opisanej wyżej sytuacji. Zdarza się, że pasażerowie znajdują się już w samolocie czekając na start, gdy jeden z nich zaczyna stwarzać potencjalne zagrożenie dla pozostałych. Dzieje się tak najczęściej z powodu nadużycia alkoholu, ale przyczyny mogą być oczywiście bardzo różne. W takiej sytuacji, kapitan ma prawo podjąć decyzję o usunięciu pasażera z pokładu samolotu,

a wraz z pasażerem z samolotu trzeba pozbyć się także jego bagażu. Analogiczna sytuacja, powodująca jeszcze większe opóźnienia, to zakłócanie porządku przez pasażera samolotu, który jest już w powietrzu. Gdy kapitan uzna, że bezpieczeństwo pasażerów, załogi, bądź lotu jest zagrożone, powinien jak najszybciej sprowadzić maszynę na ziemię i usunąć niebezpiecznego pasażera z samolotu [4]. Zgodnie z zasadą, że samolotem nie może lecieć bagaż bez właściciela, trzeba także odszukać i wyjąć walizki, które do tej osoby należą.

Takie sytuacje nie są rzadkością, a jedna z nich miała miejsce np. w lutym 2012 roku, kiedy samolot LOT-u z Chicago do Warszawy, musiał przymusowo lądować na szkockim lotnisku w Glasgow [3,6]. Powodem był jeden z pasażerów, który zachowywał się bardzo agresywnie w stosunku do współpasażerów i załogi. Pomimo prób, nie udało się go uspokoić, dlatego podjęto decyzję o lądowaniu na najbliższym lotnisku. Przymusowy postój trwał kilkadziesiąt minut i niósł ze sobą ogromne koszty.

W sekcji 4 omówiono model sytuacji decyzyjnej powstającej podczas oczekiwania na spóźnionego pasażera. Jednym z kluczowych parametrów tego modelu i związanego z nim zadania programowania dynamicznego, jest przewidywany czas poszukiwania i wyładunku bagażu nieobecnego pasażera  $\bar{d}_S$ . Określenie tej wielkości jest zadaniem złożonym i będzie przedmiotem dalszych prac. Proponujemy wykorzystanie modelu wnioskowania rozmytego, który pozwoli na oszacowanie tego czasu. Odrębnym problemem jest stworzenie systemu umożliwiającego przynajmniej przybliżoną lokalizację bagażu konkretnego pasażera. System taki pozwoli na zmniejszenie całkowitych opóźnień związanych z problemem decyzyjnym opisanym w niniejszej pracy. Nasza propozycja takiego systemu również będzie się opierała na teorii zbiorów rozmytych i zostanie opracowana w ramach dalszych badań. Podobne prace były już prowadzone ([15]), jednak z zastosowaniem innych metod.

## 6. PODSUMOWANIE

Transport lotniczy staje się coraz bardziej powszechnym sposobem przemieszczania osób i ładunków. Jednym z zagrożeń dla sprawnej i punktualnej obsługi pasażerów, mogą być sami pasażerowie. W niniejszej pracy zajęliśmy się analizą zakłóceń w ruchu lotniczym, generowanych przez podróżnych, którzy mimo odprawienia bagażu rejestrowanego, nie dotarli na czas do wyjścia do samolotu.

Przedstawiliśmy dwa problemy decyzyjne. Pierwszy polega na określeniu czasu oczekiwania na spóźnionego pasażera. W celu rozwiązania tego problemu, sformułowaliśmy zadanie Programowania Dynamicznego. Drugim problemem jest sposób rejestrowania miejsca położenia poszczególnych bagażu w luku bagażowym, tak, aby procedura usunięcia konkretnej sztuki przebiegała jak najsprawniej. W odniesieniu do tego zagadnienia zaproponowaliśmy wykorzystanie metod wnioskowania rozmytego, które, w dalszych pracach, pozwolą nam na oszacowanie czasu poszukiwania i wyładunku bagażu nieobecnego pasażera.

## Bibliografia

1. Burdzik R., Szymończyk M.: System bezpieczeństwa EDS w transporcie bagażu na lotniskach cywilnych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Zeszyt 74 (2012).
2. Dell'Olmo P., Lulli G., A dynamic programming approach for the airport capacity allocation problem, IMA Journal of Management Mathematics, No 14 (2003), p. 235-249.
3. Emito.net, Glasgow: Przymusowe lądowanie lotu USA-PL, [http://www.emito.net/wiadomosci/szkocja/glasgow\\_przymusowe\\_ladowanie\\_lotu\\_usa\\_pl\\_1115004.html](http://www.emito.net/wiadomosci/szkocja/glasgow_przymusowe_ladowanie_lotu_usa_pl_1115004.html) (04.2013).
4. International Civil Aviation Organization, Rules of the Air - Annex 2 to the Convention on International Civil Aviation, ninth edition, Montreal 1991.
5. International Civil Aviation Organization, Annual Report of the Council 2011, Documentation for the session of the Assembly in 2013, Doc 9975, Montreal 2013.
6. Interia.pl, Przymusowe lądowanie samolotu LOT w Glasgow, <http://fakty.interia.pl/swiat/news/przymusowe-ladowanie-samolotu-lot-w-glasgow,1763957,4> (04.2013).
7. Mukherjee A., Hansen M., A dynamic rerouting model for air traffic flow management, Transportation Research Part B., No 43 (2009), p. 159-171.
8. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) NR 300/2008 z dnia 11 marca 2008 r., w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie ochrony lotnictwa cywilnego i uchylające rozporządzenie (WE) nr 2320/2002, Załącznik do Rozporządzenia – wspólne podstawowe normy ochrony lotnictwa cywilnego przed atakami bezprawnej ingerencji, Dz. U. L 97/72 z 9.4.2008, Strasburg 2008.
9. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 19 czerwca 2007 roku w sprawie Krajowego Programu Ochrony Lotnictwa Cywilnego realizującego zasady ochrony Lotnictwa, Dz. U. Nr 116, poz. 803, Warszawa 2007.
10. Skorupski J., A Dynamic Method of Air Traffic Flow Management, International Review of Aerospace Engineering (I.RE.AS.E) vol. 3, No. 4 (2010), p. 232-237.
11. Skorupski J., Dynamic methods of air traffic flow management, Transport Problems, vol. 6, No. 1 (2011), p. 21-28.
12. Tang T.Q., Wu Y.H., Huang H.J., Caccetta L., An aircraft boarding model accounting for passengers' individual properties, Transportation Research part C, vol. 22 (2012), p. 1-16.
13. Tarā A.N., De Schutter B., Hellendoorn J., Predictive route control for automated baggage handling systems using mixed-integer linear programming, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 19, Issue 3, June 2011, p. 424-439.
14. Urząd Lotnictwa Cywilnego, Liczba obsłużonych pasażerów oraz wykonanych operacji w ruchu regularnym i czarterowym w polskich portach lotniczych w latach 2004 – 2012, [http://www.ulc.gov.pl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=324&Itemid=466](http://www.ulc.gov.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=324&Itemid=466) (04.2013).
15. Yfantis E. A., An Intelligent Baggage-Tracking System for Airport Security, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Volume 10, Issue 6, December 1997, p. 603–606.

### THE PROBLEM OF DISTURBANCES IN AIR TRAFFIC CAUSED BY THE LATE PASSENGERS

**Summary:** Delays and disturbances in air traffic have various causes, for example technical, operational or environmental. One of them can also be passengers' behavior. The problem of delay generated by passengers who checked-in their baggage, but did not appear at the boarding gate, is considered in this paper. In such situation a decision problem occurs – how long to wait for a late passenger. Waiting too long can cause departure delay and thus costs increase. On the other hand, the decision to take-off without a missing passenger, involves necessity of finding and unloading his checked-in baggage. This search procedure also causes delay and additional costs.

The paper presents a model of decision-making process and proposes a solution, using a dynamic programming method. The task has been described adequately to the model of decision situation. An important part of this optimization task is to estimate the time needed to find and unload the baggage, which belongs to the missing passenger. This problem will be the subject of further work, but for the time being it is proposed to solve it using fuzzy sets theory.

**Keywords:** air traffic delays, decision-making process in transport, dynamic programming