

Jakub Jagnicki*, Piotr Pałka*

Zastosowanie mechanizmów handlu wielotowarowego do zarządzania przepustowością portów lotniczych**

1. Wprowadzenie

Lotnictwo pasażerskie zapoczątkowało swój rozwój w pierwszych latach ubiegłego stulecia. Jego popularność stawała się coraz większa, czyniąc go obecnie jednym z głównych środków transportu. Wraz ze wzrostem popularności lotnictwa pasażerskiego problemy, jakie mu towarzyszą, nabierają jeszcze większego znaczenia, a rozwiązywanie ich odgrywa kluczową rolę w jego rozwoju. Coraz częściej spotykana jest sytuacja, w której ma miejsce przekroczenie ograniczeń infrastruktury portów lotniczych, powodując sytuację zatłoczenia. Warto też zwrócić uwagę na zmienną średnią ilość pasażerów przypadającą na jeden samolot; w zależności od kraju obserwuje się tendencję wzrostową (rozwój połączeń dalekiego zasięgu) lub malejącą (większy rozwój połączeń lokalnych oraz średniego zasięgu), z czym związane jest także zróżnicowanie wśród samolotów pod względem ich wielkości i zdolności przewozowych. Zmienne jest także wykorzystanie infrastruktury lotnisk, której średni obraz zależy do ilości lotnisk w danym kraju. Lotniska można podzielić ze względu na uczęszczalność, wielkość, przepustowość. Korzystanie z infrastruktury jest zmienne w czasie – może zależeć od pory dnia, od dnia tygodnia, jak i pory roku. Może także zależeć od chwilowego wysokiego zapotrzebowania (np. okresy świąteczne). Ruch lotniczy, czyli samoloty oraz pasażerowie korzystający z istniejącej infrastruktury, przy obecnym poziomie rozwoju bardzo często doprowadza do pełnego wykorzystania przepustowości i ograniczeń, jakie posiadają porty lotnicze, powodując tym samym zjawisko zatłoczenia, skutkujące opóźnieniami w obsłudze zarówno samolotów jak i chcących podróżować nimi pasażerów.

2. Rozwiązania nierynkowe

Obecnie alokacja ruchu lotniczego przeprowadzana jest przez *Airport Scheduling Committee*, na drodze określonych przepisami zasad, względem ustalonych wcześniej,

* Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej

** Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009–2011 jako projekt badawczy nr N N516 375736

zgłaszanych przez linie lotnicze i przewoźników preferencji oraz zapotrzebowań. Alokacja jest przeprowadzana w ramach dwóch sezonów w ciągu roku, odpowiednio wcześniej przed rozpoczęciem każdego z nich [4]. Ustalone zasady to między innymi: zasada „dziedziczenia”, przydzielająca zasoby wówczas, jeśli ich przydział miał miejsce podczas poprzednich sezonów; zasada utraty nieużywanego zasobu, dająca negatywną opinię dotyczącą przydziału danego zasobu, jeśli w poprzednim sezonie, mimo przydzielenia, nie został on wykorzystany; priorytet dla regularnych usług i połączeń; pierwszeństwo dla większego samolotu; preferencja względem efektywniejszego wykorzystania światła dziennego (*daylight saving time*). Horyzontem czasowym są dwa sezony planowania, ale możliwy jest też przydział zasobów *ad hoc* – wolne miejsce, które powstaje w wyniku odwołania lotu, zmiany typu samolotu, itp., jest udostępniane każdemu, kto o nie zaaplikuje (dzień lub kilka dni wcześniej) [4].

Kolejnym sposobem rozwiązania problemu zatłoczenia są zmiany w istniejącej infrastrukturze portów lotniczych. Jednak jest to rozwiązanie wymagające długiego czasu realizacji, poza tym nie zawsze jest możliwe. Rozwiązanie to nie powinno być więc stosowane jako jedyne, lecz powinno towarzyszyć użyciu innych. Innym sposobem przeciwdziałania problemowi zatłoczenia lotnisk jest wydłużenie czasu działania lotniska. Rozwiązanie to niesie jednak za sobą wzrost kosztów (m.in. wyższe opłaty za emitowany hałas w godzinach nocnych), a ponadto nie do końca rozwiązuje panującą sytuację, gdyż popyt na korzystanie z lotniska w późnych godzinach nocnych jest niewielki.

Dobrym krokiem do zmniejszenia zatłoczenia lotnisk jest efektywniejsze zarządzanie jego infrastrukturą, które może być m.in. realizowane za pomocą zróżnicowania opłat lotniskowych. Bierze się tutaj pod uwagę zarówno wielkość samolotu, jak i porę korzystania przez samolot z lotniska [4]. Również zastosowanie efektywniejszych metod zarządzania samym ruchem lotniczym może przynieść wymierne korzyści [1]. Jednym z potencjalnych rozwiązań jest poszukiwanie algorytmów, które w odpowiedni sposób alokowałyby istniejący (i przyszły) ruch lotniczy i radziły sobie jednocześnie z problemem zatłoczonych lotnisk. Stosując odpowiednią politykę cenową można realnie wywierać wpływ na poziom ruchu lotniczego [4]. Na przykład występowanie sezonowych (poza okresem letnim) niższych cen może być środkiem do bardziej równomiernego rozłożenia lotów w ciągu roku oraz spowolnienia wzrostu ruchu letniego [1]. Analogicznie zasadę tę można odnieść do innych okresów – do dni tygodnia oraz pory dnia. Dobierając odpowiednio ceny, można więc dostosować się do popytu na rynku zasobów dla linii lotniczych, zabezpieczając się tym samym przed przekroczeniem ograniczeń lotniska, i co za tym idzie jego zatłoczeniem. Problemem jest jednak trudność w rozpoznaniu popytu, co może prowadzić do zbyt małego i nieefektywnego wykorzystania zasobów lotniska – straty ekonomiczne, zbyt wysoko określona cena przez błędne rozpoznanie popytu. Z kolei zbyt małe oszacowanie powoduje powrót problemu zatłoczenia (ale już w mniejszym stopniu) [4].

Z uwagi na trudności w rozpoznaniu i dopasowaniu się do realnie występującego popytu, sprzedaż zasobów po określonych uprzednio cenach może doprowadzić do złego rozwiązania, zarówno od strony ekonomicznej jak i od strony efektywnego wykorzystania

usług i infrastruktury. Ponadto, takie rozwiązanie jest niekorzystne i nieefektywne, gdy linie lotnicze są „niesymetryczne”, tzn. różne między sobą pod względem wielkości, jakości i ilości zapotrzebowań, świadczonych usług oraz oferowanych pasażerom cen połączeń [2].

3. Rozwiązania rynkowe

Wady wspomnianego rozwiązania mogą zostać wyeliminowane dzięki zastosowaniu odpowiedniego mechanizmu rynkowego. Może to być dobre narzędzie zarówno do regulowania popytu i podaży, ale także do ustalania cen, po których mają być udostępniane usługi i infrastruktura. Rozwiązaniem problemu „niesymetryczności” może być też wprowadzenie opłaty w zależności od zbliżenia się do ograniczeń przepustowości w infrastrukturze lotniska, czyli tzw. opłaty od zatłoczenia, zróżnicowanej w zależności od pory (dnia, dnia tygodnia, sezonu) i występującego w niej obciążenia. Wymogiem uzyskania efektywności tej metody jest zapewnienie współdzielenia występującego zatłoczenia, tzn. uwzględniania w nim nie tylko obecności innych powodujących zatłoczenie, ale również i swojej obecności. Kolejnym wymogiem jest stworzenie mechanizmu generującego niższą opłatę za wprowadzenie nowego lotu dla większego przewoźnika o większej liczbie lotów w godzinach zwiększonego ruchu niż dla zupełnie nowego przewoźnika, który w tym ruchu nie ma obecnie udziału. Budzi to sprzeciw mniejszych przewoźników, ale (oprócz gwarancji efektywności) zapobiega sytuacji, w której duże linie lotnicze obsługiwałyby za mało lotów, a małe zbyt dużo [2]. Pewnym zagrożeniem w tej metodzie jednak jest możliwość występowania zjawiska przesuwania przez linie lotnicze własnych połączeń z godzin szczytu na inne godziny, aby ograniczyć zatłoczenie i zmniejszyć opłaty za wprowadzenie nowego połączenia w godzinach szczytu.

W szczególności, jednym z rozwiązań problemu zarządzania zatłoczenia lotnisk jest zastosowanie mechanizmów aukcyjnych. Wiele dziedzin, począwszy od codziennego handlu pomiędzy podmiotami fizycznymi za pośrednictwem aukcyjnych portali internetowych, poprzez handel różnego rodzaju towarami (np. dziełami sztuki) w domach aukcyjnych, handel walutami i papierami wartościowymi na giełdzie, rynek energii elektrycznej, rozdzielanie praw do transmisji i dostępu do spektrum elektromagnetycznego czerpie korzyści z zastosowania tego rodzaju mechanizmów rynkowych. Także w wielu publikacjach coraz szerzej obecne są rozważania dotyczące zastosowania mechanizmów rynkowych jako propozycji zmiany w zarządzaniu zasobami portów lotniczych [3, 4, 6]. Autorzy pracy [8] rozważają kombinatoryczną aukcję SMRA (*Simultaneous Multiple Round Auction*). Oferty na taką aukcję są składane w wielu rundach, podczas których oferenci (linie lotnicze) mogą, oprócz modyfikacji cen ofertowych, wstrzymać się od licytacji, składać nowe oferty, budując w ten sposób dynamicznie požądane do uzyskania zależności pomiędzy zasobami lotniskowymi. Dzięki zastosowaniu mechanizmu aukcji kombinatorycznej wiele wymagań dotyczących różnych zasobów, przykładowo pasa startowego, budynku terminala, miejsc postojowych na płycie lotniska, tworzą tak zwane *paczki*. Tak skonstruowane połączenie

zasobów wspomaga zarządzanie ograniczeniami infrastruktury lotniska oraz rozwiązuje problem określonej przepustowości pasa startowego. Przeprowadzanie tego rodzaju aukcji miałyby odbywać się z taką samą częstotliwością jak obecnie występujący przydział za pomocą *Airport Scheduling Committee*, dotyczyłby on również tego samego horyzontu czasowego.

Jednak tak utworzona koncepcja aukcji może narażać linie lotnicze na zbyt duże ryzyko agregacji i niedopasowania. Spowodowane to jest możliwością uzyskania pewnej grupy zasobów oraz jednoczesnym nieuzyskaniem dostępu do innej grupy zasobów w innym czasie, synergicznej w stosunku do poprzedniej grupy. Powstałe niedopasowania mogą być trudne do zniwelowania nawet za pomocą proponowanej wymiany zasobów na rynku wtórnym. Bardziej rozsądnym rozwiązaniem wydaje się poszukiwanie takiej metody, która już jako rozwiązanie pierwotne, dostarczy mechanizmów pozwalających zminimalizować agregację i niedopasowanie. Stąd w publikacji [8] rozważa się także wprowadzenie modyfikacji do SMRA w postaci możliwości składania ofert, które pozwalałyby tworzyć zależności nie tylko pomiędzy towarami, ale także na tworzenie zależności pomiędzy ofertami (wiązkami towarów). Przy czym, zwraca się dość mocno uwagę, że stworzenie i udostępnienie takiej możliwości może być skomplikowane. Dlatego proponowane jest wprowadzenie tego rozwiązania jedynie wtedy, gdy w porównaniu z aukcją o prostszej konstrukcji, pozwoli ono na znaczne zwiększenie efektywności uzyskanego przydziału zasobów. Okazuje się jednak, że realne zwiększenie efektywności jest na tyle duże, że stworzenie takiej możliwości staje się uzasadnione.

4. Model handlu wielotowarowego

Jednym z możliwych rozwiązań jest więc zastosowanie mechanizmu handlu wielotowarowego do zarządzania zasobami lotniskowymi [3]. Model ten zakłada możliwość składania ofert zarówno na pojedyncze towary (tzw. oferty elementarne) jak i na wiązki towarów (tzw. oferty zintegrowane) [7]. W odróżnieniu od aukcji kombinatorycznej, model ten nie zakłada, że występujące towary są niepodzielne, zakłada się dowolność w definicji dziedziny dostępności towaru (np. towar dostępny w sposób modularny, ciągły, występowanie obszarów zabronionych itd.). Podstawowy model handlu wielotowarowego przedstawiają zależności (1)–(4). W handlu uczestniczy pewna liczba sprzedawców (oznaczymy ich numeracją przez indeks $l \in S$) oraz kupujących (oznaczymy ich numeracją przez indeks $m \in B$). Określają oni swoje preferencje w postaci pewnych sparametryzowanych ofert. Każdy kupujący składa ofertę kupna, o określonej przez oferenta maksymalnej cenie, jaką jest on w stanie zapłacić za dany towar (e_m). Podobnie, każdy sprzedający składa ofertę sprzedaży, o określonej przez niego minimalnej cenie, za jaką gotów jest on sprzedać dany towar (s_l). Dla najprostszego modelu rynku, na którym uczestnicy handlują całkowicie podzielnymi towarami, każdy z nich może posiadać różne maksymalne wielkości zapotrzebowania/produkcji – do parametrów ofertowych dochodzi maksymalny wolumen obrotu, jaki chce za-

kupić nabywca m -ty (d_m^{\max}), lub sprzedać sprzedawca l -ty (p_l^{\max}). Zakładamy także, że handel dotyczy n towarów, indeksowanych przez i . Parametry a_{im} oraz α_{ij} są wektorami określającymi zawartość poszczególnych towarów w ofertach zintegrowanych.

$$\hat{Q} = \max_{d,p} \left[Q = \sum_{m \in B} e_m d_m - \sum_{l \in S} s_l p_l \right] \quad (1)$$

Przy ograniczeniach:

$$\sum_{m \in B} a_{im} d_m \leq \sum_{l \in S} \alpha_{il} p_l \quad \forall i=1, \dots, n \quad (2)$$

$$0 \leq p_l \leq p_l^{\max} \quad \forall l \in S \quad (3)$$

$$0 \leq d_m \leq d_m^{\max} \quad \forall m \in B \quad (4)$$

Ponadto model handlu wielotowarowego umożliwia także tworzenie bardziej złożonych zależności pomiędzy ofertami dzięki zastosowaniu mechanizmu tzw. *ofert grupujących*. Dzięki wymienionym mechanizmom ofertowania, model handlu wielotowarowego pozwala na formułowanie złożonych zależności pomiędzy towarami, jak akceptacja nie więcej niż p z wymienionych q ofert; akceptacja nie mniej niż p z wymienionych q ofert, lub żadnej; akceptacja zbioru ofert tylko w przypadku akceptacji wszystkich ofert w zbiorze; akceptacja oferty v tylko wtedy, gdy zaakceptowana zostanie oferta w . Oferty grupujące pozwalają w przystępny sposób na realizację tak określonych relacji pomiędzy wybranymi ofertami. Równanie (5) przedstawia wybrane ograniczenie realizujące liniową funkcję grupującą, które może być inną formą przedstawienia ograniczeń logicznych, jakie dodatkowo mogą być wprowadzone do modelu. Parametry g_m oraz γ_l określają współczynniki funkcji grupującej. Odpowiednie ustalenie tych współczynników daje nam możliwość realizacji wymienionych powyżej relacji.

$$B^{\min} \leq \sum_{m \in B} g_m d_m + \sum_{l \in S} \gamma_l p_l \leq B^{\max} \quad (5)$$

Możliwe jest także grupowanie ofert i tworzenie wielopoziomowych, zagregowanych relacji z użyciem powyższych relacji elementarnych. Tak określony zbiór relacji pozwala na specyfikowanie ofert alternatywnych pod względem: czasowym, jakościowym, cenowym (z uwzględnieniem aspektu nieaddytywności oraz superaddytywności cen). Relacje te wraz ze sposobem ich realizacji szerzej omówione są w pracy [3].

Jednym z możliwych rozwiązań, pozwalającym na łatwiejsze skorzystanie z określonego modelu matematycznego służącego do rozwiązania problemu, jest przedstawienie danych zawartych w przykładzie za pomocą modelu danych dla wymiany wielotowarowej M^3 [9]. Dostarcza on możliwości, które pozwalają odzwierciedlić i zrealizować wiele aspektów

właściwych dla problemów zarządzania zasobami lotniskowymi. Są to m.in.: charakterystyka czasowa udostępniania zasobów (realizowana za pomocą struktury *Calendar*) i możliwość przypisania struktury kalendarza do zamodelowanych za pomocą M^3 towarów (*Commodity*), oferty elementarne, zintegrowane *BundledOffer*, relacje pomiędzy wybranymi ofertami (oferty grupujące *GroupingOffer*) – Listing 1 pokazuje zastosowanie M^3 do realizacji relacji pomiędzy ofertami $O_1^{LL1}, O_2^{LL1}, O_3^{LL1}, O_4^{LL1}$ dla zaprezentowanego w kolejnym punkcie przykładu.

```
<m3:GroupingOffer id="GroupingOffer1" groupingFunction="linear-grouping">
  <m3:offeredBy ref="Airline-1"/>
  <m3:groups>
    <m3:groupedCommodity ref="GroupingRule1"/>
    <m3:groupedOffer ref="A1offer1" coefficientValue="1"/>
  </m3:groups>
  <m3:groups>
    <m3:groupedCommodity ref="GroupingRule1"/>
    <m3:groupedOffer ref="A1offer2" coefficientValue="1"/>
  </m3:groups>
  <m3:groups>
    <m3:groupedCommodity ref="GroupingRule1"/>
    <m3:groupedOffer ref="A1offer3" coefficientValue="1"/>
  </m3:groups>
  <m3:groups>
    <m3:groupedCommodity ref="GroupingRule1"/>
    <m3:groupedOffer ref="A1offer4" coefficientValue="1"/>
  </m3:groups>
</m3:GroupingOffer>
```

Listing 1. Realizacja relacji *xor* za pomocą modelu M^3 i mechanizmu ofert grupujących zapisana w notacji M3-XML

W przykładzie tym także pokazane są możliwości zastosowania modelu danych M^3 , natomiast bardziej szczegółowa analiza użycia i możliwości tego modelu danych dla omawianego niżej przykładu oraz innych przykładów przedstawionych w pracy [3] pokazuje, że model M^3 pozwala na reprezentację danych dla złożonych sytuacji rynkowych, będących odzwierciedleniem występujących charakterystycznych wymagań dla zarządzania zasobami lotniskowymi za pomocą wybranego dla problemu i określonego w pracy [3] modelu handlu wielotowarowego.

5. Przykład zastosowania

W przykładzie przedstawiona jest sytuacja, będąca zobrazowaniem głównych cech charakterystycznych dla zarządzania zasobami lotniskowymi. Pokazane jest także użycie modelu M^3 , będącego modelem danych dla handlu wielotowarowego [9], do przedstawie-

nia danych dla określonej sytuacji, która może być również przykładem rynkowego podejścia w zarządzaniu zasobami lotniskowymi.

Istotą przykładu są podmioty, biorące udział w modelowej sytuacji – *Linia Lotnicza 1* oraz *Linia Lotnicza 2*, które wyrażają zapotrzebowania na zasoby, udostępniane przez *Port Lotniczy*. Zapotrzebowania formułowane są w postaci wiązki ofert, będących wyrażeniem potrzeb w stosunku do danej grupy zasobów w określonym przedziale czasu. W przykładzie, relacją występującą pomiędzy wybranymi ofertami jest relacja *xor* (\oplus), oznaczająca możliwość akceptacji tylko jednej z ofert, biorących udział w danej relacji. Oferty, pomiędzy którymi występuje relacja *xor*, są wskazane w przedstawionych równaniach: $[O_1^{LL1} \oplus O_2^{LL1} \oplus O_3^{LL1} \oplus O_4^{LL1}]$, $[O_5^{LL1} \oplus O_6^{LL1}]$ oraz $[O_2^{LL2} \oplus O_3^{LL2} \oplus O_4^{LL2}]$ (dodatkowo, każda z ofert niezależnie występuje w relacji *lub* z innymi ofertami).

Tabela 1

Skład ofert

Oferta \ Czas	15 ¹⁵	15 ³⁰	15 ⁴⁵	16 ⁰⁰	16 ¹⁵	16 ³⁰	16 ⁴⁵	17 ⁰⁰	17 ¹⁵	17 ³⁰
O_1^{LL1}		R	T J	T J	T J	R				
O_2^{LL1}			R	T J	T J	T J	R			
O_3^{LL1}	R	T J	T J	T J	R					
O_4^{LL1}		R	B S	T S	T S	B S	R			
O_5^{LL1}				R	T J	T J	T J	R		
O_6^{LL1}				R	B S	T S	B S	R		
O_7^{LL1}			R	T J	T J	T J	T J	T J	R	
O_8^{LL1}						R	T J	T J	T J	R
O_1^{LL2}				R	T J	T J	T J	T J	R	
O_2^{LL2}					R	B S	T S	T S	B S	R
O_3^{LL2}					R	T J	T J	T J	R	
O_4^{LL2}				R	T J	T J	T J	R		
O_5^{LL2}		R	T J	T J	T J	T J	T J	R		

Szczegółową zawartość ofert przedstawia tabela 1, gdzie jednocześnie prezentowane są rodzaje zasobów, jakie rozpatrywane były w prowadzonych analizach, wraz z określonym w uproszczony sposób poniżej ograniczeniem ich dostępności (przepustowości) dla przyjętego 15-minutowego kwantu czasu, a wszystkie zapotrzebowania w przykładzie wyrażone są na ilość zasobu równą 1 dla tego samego kwantu czasu (z wyjątkiem terminala, dla którego zapotrzebowanie wyrażone jest na ilość równą 100). Symbol *R* oznacza korzystanie z pasa startowego (*runway*), *T* oznacza korzystanie z terminala, *J* oznacza korzystanie z rękawa lotniczego (*jet bridge*), *S* oznacza korzystanie z płyty lotniska (*stand*) w celu podstawienia tam autobusu *B* (*apron bus*) do przewiezienia pasażerów. *Linia Lotnicza 1* składa oferty $O_1^{LL1}, \dots, O_8^{LL1}$, zaś *Linia Lotnicza 2* składa oferty $O_1^{LL2}, \dots, O_5^{LL2}$. Złożenie oferty O_1^{LL1} oznacza chęć rezerwacji pasa startowego *R* w okresie 15³⁰–15⁴⁵, następnie rezerwację terminala *T* oraz rękawa lotniczego *J* w celu wyprowadzenia pasażerów do terminala i przyjęcie nowych pasażerów w okresie 15⁴⁵–16³⁰. Następnie samolot startuje

z pasa R w okresie 16^{30} – 16^{45} . Nieco bardziej złożoną ofertą, składaną przez tę samą linię lotniczą, jest oferta O_4^{LL1} . Rozważa ona lądowanie samolotu w okresie 15^{30} – 15^{45} , następnie postój samolotu na płycie lotniska w okresie 15^{45} – 16^{45} . Podczas postoju samolotu na płycie powinien podjechać autobus (15^{45} – 16^{00}) i odwieźć pasażerów do terminala. Terminal powinien być dostępny w okresie 16^{00} – 16^{30} , w celu odebrania pasażerów oraz przyjęcia pasażerów do nowego przelotu. Następnie autobus powinien zawieźć pasażerów do samolotu (16^{30} – 16^{45}). W końcu samolot rezerwuje pas do startu (16^{45} – 17^{00}). Zauważmy, że oferty te (jak i oferty O_2^{LL1} oraz O_3^{LL1}) są wariantami, spośród których mechanizm handlu wybiera najlepszą z punktu widzenia spełniania ograniczeń. Składając tę paczkę ofert, linia lotnicza przedstawia swoje preferencje dotyczące poszczególnych ofert poprzez ustalenie odpowiednich cen. Zakładając następujący wektor cen ofertowych: [50; 45; 43; 40; 52; 50; 58; 55; 49; 51; 53; 55; 56], oraz fakt, że lotnisko oferuje dwa pasy startowe, terminal o pojemności 400 pasażerów (zakładamy, że jeden samolot zabiera na pokład 100 pasażerów), pięć rękawów lotniczych, jeden autobus oraz dwa miejsca postojowe na płycie lotniska, otrzymujemy rozwiązanie. Przyjęte do realizacji są oferty O_1^{LL1} , O_6^{LL1} , O_7^{LL1} , O_8^{LL1} , O_3^{LL2} oraz O_5^{LL2} .

Warto tutaj wspomnieć o narzędziach ułatwiających współpracę z modelem M^3 . Narzędziem wspomagającym transformację modelu zapisanego w notacji M3-XML (notacja ta oparta jest o zapis XML) są transformaty XSLT. Przekształcają one model zapisany w M3-XML do odpowiedniego modelu matematycznego w formacie interpretowanym przez solvery (np. dla AMPLa). Innym dogodnym narzędziem jest korzystający z tych transformat solver zasilany danymi formacie M3-XML [5]. Przedstawiony w tym punkcie przykład został zapisany w formacie M3-XML, następnie przetransformowany za pomocą transformaty XSLT.

6. Podsumowanie

Modele handlu wielotowarowego mogą znacząco wpływać na zwiększenie efektywności w zarządzaniu i wykorzystaniu zasobów lotniskowych. Pozwalają one oferentom (liniom lotniczym) wyrażać bardzo złożone wymagania, związane m.in. z koordynacją czasową oraz lokalizacyjną pomiędzy poszczególnymi zapotrzebowaniami. Jednocześnie, odpowiedni model handlu wielotowarowego jest w stanie dostarczyć mechanizmy, które zabezpieczyłyby możliwie jak najlepiej linie lotnicze przed ryzykiem nieuzyskania towarów w ramach pewnych określonych granic tolerancji (np. czasowych, jakościowych, itp.), a także pozwoliłyby spełniać ekonomiczne możliwości linii lotniczych i nabywać tą drogą odpowiednie zasoby związane z lotniskiem i umożliwiając tym samym powstanie większej konkurencji na rynku i rozwój siatki połączeń, przy jednoczesnym lepszym wykorzystaniu infrastruktury lotniska, nie powodując przekroczenia jego przepustowości.

Ponadto odpowiednia reprezentacja danych dla modelowej sytuacji handlu wielotowarowego pozwala na łatwą ich dostępność i interpretację, co daje możliwość wykorzystania

ich w różnych matematycznych modelach optymalizacyjnych – m.in w modelu zaprezentowanym w pracy [3] opartym o model aukcji kombinatorycznej, czy też w wykorzystanym przez nas modelu handlu wielotowarowego, zaproponowanym w pracy [7].

Modelem danych, projektowanym właśnie z myślą o rynku wielotowarowym jest M^3 . Może zapewnić on zunifikowany sposób przedstawienia danych zarówno od udostępniających zasoby (portów lotniczych), jak i oferentów (linii lotniczych). Jednocześnie, spełniając wymagania wielu matematycznych modeli aukcji oraz realiów rynku, może dać metodę, dzięki której będzie mieć miejsce integracja danych z wielu rozproszonych źródeł. Model M^3 , uwzględniając wielotowarowość rynku oraz ograniczenia wynikające z jego infrastruktury, może być platformą komunikacji dla nowo tworzonej koncepcji zmieniającej sposób zarządzania i przydziału zasobów lotniskowych. Platforma ta może być rozpatrywana nie tylko pod względami integracji czysto rynkowej, ale także integracji systemowej – stanowiąc możliwy istotny element oprogramowania zajmującego się rozwiązywaniem danego typu problemów.

Literatura

- [1] Abeyaratne R.I.R., *Management of airport congestion through slot allocation*. Journal of Air Transport Management, 6, 2000, 29–41.
- [2] Brueckner J.K., *Slot-Based Approaches to Airport Congestion Management*. Cesifo Working Paper, no. 2302, Category 1: Public Finance, 2008.
- [3] Jagnicki J., *Zastosowanie modelu M^3 do zarządzania ograniczeniami przepustowości portu lotniczego*. Praca magisterska, Politechnika Warszawska, 2011.
- [4] Jones , Viehoff I., Marks P., *The Economics of Airport Slots*. Fiscal Studies, 14(4), 1993, 37–57.
- [5] Kacprzak P., Kaleta M., Pałka P., Smolira K., Toczyłowski E., Traczyk T., *Procesor decyzyjno-obliczeniowy dla rynkowego modelu danych M^3* . Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008, 215–226.
- [6] Rassenti S.J., Smith V.L., Bulfin R.L., *A Combinatorial Auction Mechanism for Airport Time Slot Allocation*. The Bell Journal of Economics, 13(2), 1982, 402–417.
- [7] Toczyłowski E., *Optymalizacja procesów rynkowych przy ograniczeniach*. EXIT, Warszawa 2003.
- [8] DotEcon Ltd, *Auctioning airport slots*. January 2001.
- [9] www.openm3.org – *Multi-commodity Market Data Model*.