

## Nowoczesne modelowanie i optymalizacja przepustowości średniej wielkości portu lotniczego za pomocą oprogramowania WITNESS na przykładzie lotniska EPWA Warszawa im. F. Chopina

Paweł Nowakowski, Piotr Wieczorek



mgr inż. Paweł Nowakowski

AMC Advanced Manufacturing Consulting Sp. z o.o.

Paweł.nowakowski@amc.waw.pl



mgr Piotr Wieczorek

AMC Advanced Manufacturing Consulting Sp. z o.o.

aviatorcx@vp.pl

Optymalizacja procesów to jedna z najbardziej dynamicznie rozwijających się dziedzin z szeroko rozumianego obszaru doskonalenia procesów biznesowych. Pozwala zdefiniować rozwiązania dające odpowiedź na wydawałoby się niemożliwe do rozwiązania do tej pory dylematy:

- jak osiągnąć więcej wydając mniej?
- jak poznać efekty nowych rozwiązań przed ich wdrożeniem?
- jak poprawić przepustowość procesu bez dodatkowych nakładów?
- jak najlepiej wykorzystać dostępne zasoby?
- jak skrócić czas i zmniejszyć koszty operacji bez dodatkowych inwestycji?
- jak poprawić jakość obsługi klienta minimalnym kosztem?
- jakie są rzeczywiste maksymalne możliwości analizowanego procesu?
- jaki rzeczywisty potencjał tkwi w „wąskich gardłach”?
- czy planowane inwestycje dadzą oczekiwane efekty?
- jak zredukować ryzyko nowych rozwiązań?

Odpowiedzi na powyższe dylematy optymalizacyjne możemy uzyskać optymalizując badany proces na trzy sposoby:

- prowadząc wiele prób i testów na rzeczywistym procesie – tak prowadzona optymalizacja zajmuje bardzo dużo czasu, jest uciążliwa dla otoczenia, ryzykowna i w efekcie najbardziej kosztowna,
- wykonując analizy matematyczne – ich końcowa jakość zależy będzie w

dużej mierze od użytego aparatu matematycznego. W praktyce, najczęściej korzystamy z prostych funkcji liniowych i działań na wartościach uśrednionych, co oznacza, że w efekcie osiągniemy co najwyżej średniej jakości rozwiązanie, dalekie od optymalnego, • prowadzenie optymalizacji na Wirtualnych Modelach Symulacyjnych badanego procesu za pomocą specjalnego oprogramowania – tak prowadzona optymalizacja pozwala analizować proces z całą jego złożonością i zmiennością oraz pozwoli nam zdefiniować w ciągu kilku dni najlepsze z możliwych, czyli optymalne rozwiązanie.

Niniejsza publikacja ma na celu przybliżenie czytelnikowi metodyki optymalizacji procesów w dziedzinie komunikacji za pomocą wirtualnych modeli symulacyjnych zbudowanych w programie WITNESS na przykładzie modelu Portu Lotniczego EPWA Warszawa im. F. Chopina. Opisany model portu lotniczego ograniczono celowo do analizy przepustowości pasów startowych wraz z płytą lotniskową, zachęcając czytelnika do wykorzystania nieograniczonych możliwości tego narzędzia przy optymalizacji wielu innych operacji w działalności portu lotniczego. Mamy nadzieję, że dla wszystkich którzy mieli okazję doskonalić procesy sposobami 1 i 2, niniejszy artykuł będzie stanowił cenną inspirację do poszukiwania i wdrażania nowych rozwiązań, tak by nasze polskie porty lotnicze osiągały jak najwyższe wskaźniki efektywności i jakości obsługi pasażera, skutecznie konkurując na światowym rynku lotniczym.

### Potrzeba optymalizacji procesów w branży lotniczej

Istnieje szereg definicji przepustowości portu lotniczego i poszczególnych elementów jego infrastruktury. Generalnie mówiąc przepustowość lotniska – to maksymalna ilość operacji startów i lądowań statków powietrznych na drodze/drogach startowych, obsługowanych pasażerów i ich bagażu (zarówno podręcznego, jak i rejestrowanego) oraz ładunków cargo w jednostce czasu (najczęściej dotyczy to okresu 60 minut), przy której dany port lotniczy może efektywnie (płynnie) i bezpiecznie

funkcjonować.

Istotną kwestią z punktu widzenia optymalizacji procesów jest zapewnienie na określonym poziomie ustalonym przez operatora portu lotniczego deklarowanej przepustowości, przy jednoczesnym zachowaniu minimalnego, akceptowanego poziomu opóźnienia, wynoszącego – zgodnie z ustaleniami podjętymi podczas konferencji i w Dublinie w 2004 roku – 8 minut na jedną operację lotniczą (NATS Dublin Airport Runway Capacity Study, Final Report, 2004). Podczas 39-go „Congress of European Regional Science Association”, jaki miał miejsce w Dublinie pięć lat wcześniej, tj. w 1999 – jego uczestnicy stwierdzili jednogłośnie, iż „capacity is ... a measure of supply”, czyli innymi słowy przepustowość portu lotniczego należy traktować więc jako jego ofertę w stosunku do przewoźników lotniczych.

### Im większa jest przepustowość lotniska – tym dany port lotniczy posiada bogatszą ofertę dla dotychczasowych i nowych linii lotniczych oraz przewoźników GA (General Aviation) /BA (Business Aviation).

Jest to niezmiernie istotne stwierdzenie o fundamentalnym znaczeniu dla stabilnego rozwoju portu lotniczego. O pozycji danego portu lotniczego w systemie portów lotniczych danego regionu decyduje bowiem jego przepustowość, jak również poziom punktualności i jej stała poprawa.

Z powyższych stwierdzeń wynika jasno, że dla każdego portu lotniczego kluczowym zagadnieniem staje się ciągła optymalizacja procesów operacyjnych ukierunkowana na poprawę przepustowości lotniska przy zachowaniu wysokiej punktualności i zapewnieniu maksymalnego bezpieczeństwa operacji lotniczych.

W tym celu niezbędna jest ciągła i wysoce efektywna analiza przepustowości danego portu lotniczego oraz szybka identyfikacja tzw. „wąskich gardeł” (ang. „bottlenecks”). W wielu portach lotniczych świata działają tzw. „capacity team”, które na bieżąco analizują aktualną przepustowość danego lotniska – dążąc do jej optymalizacji, poprzez identyfikację i minimalizację wąskich gardeł w procesach startów i lądowań, obsługi statków powietrznych i

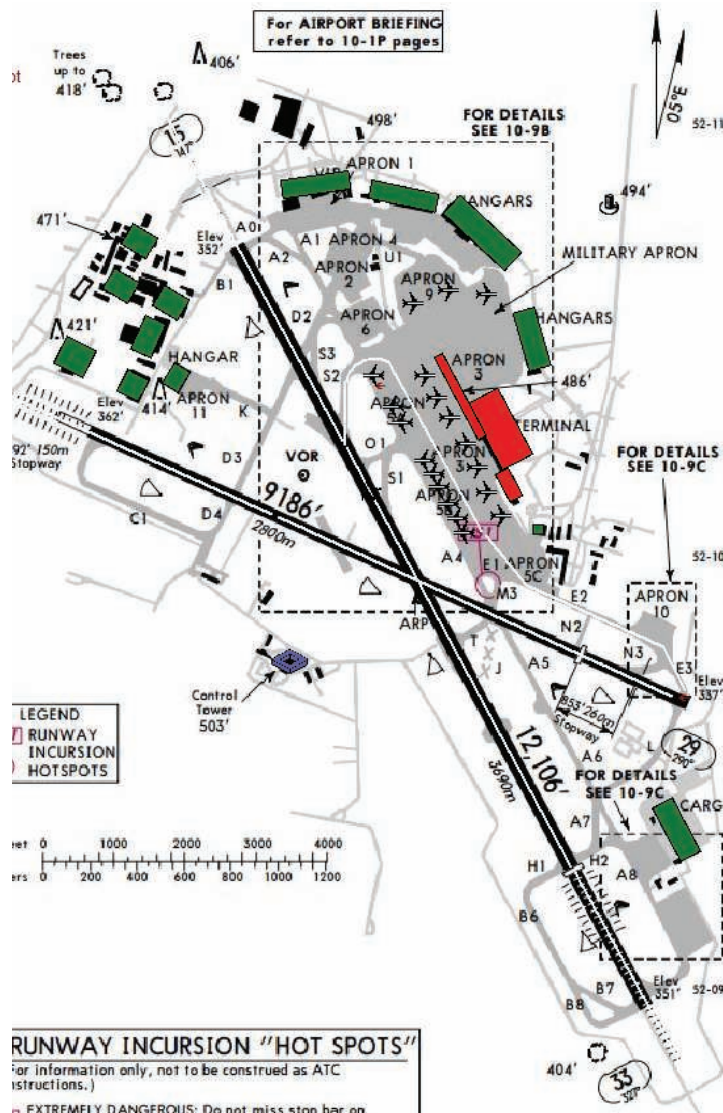
przepływu strumienia pasażerów. Pracom związanym z poprawą przepustowości lotnisk oraz poprawy punktualności (w tym minimalizacji opóźnień) muszą towarzyszyć działania dotyczące SMS (Safety Management System), zapewniające bezpieczeństwo operacji lotniczych.

## Model Portu Lotniczego EPWA Warszawa im. F. Chopina

W przedstawionym na rys. 1 modelu portu lotniczego na potrzeby niniejszej publikacji zamodelowano w programie WITNESS następujące obiekty i procesy:

- infrastruktura portu lotniczego ( pasy

- startowe, drogi kołowania i miejsca postoju samolotów),
- statki powietrzne,
- przyloty/odloty samolotów zgodnie z planem (rozkładem) lotów,
- opóźnienia przylotów i odlotów,
- dynamika startów i lądowań,
- dynamika kołowania na drogach kołowania i płycie lotniskowej,
- obsługa samolotu przez operatorów handlingowych,
- sterowanie ruchem samolotów przez kontrolera GND ( od ang. *ground* - kontrola ruchu na płycie lotniska) i TWR ( od ang. *tower* – wieża kontroli podejścia do lądowania i startu statku powietrznego) w celu uniknięcia kolizji i zapewnienia bezpieczeństwa operacji lotniczych.



1. Model portu lotniczego EPWA im. Fryderyka Chopina w Warszawie



2. Strona sterowania przebiegiem eksperymentów z poziomu arkusza Excel lub samodzielnej aplikacji.

Sterowanie pracą modelu dokonywane jest z poziomu arkusza kalkulacyjnego Excel (rys.2), w którym wprowadzamy interesujące nas zmienne ( Dane Wejściowe ) i śledzimy wyniki symulacji ( Wyniki )

Mając na uwadze ochronę danych portu lotniczego w prezentowanym eksperymencie zamiast rzeczywistych danych operacyjnych portu użyto wartości domyślnych.

## Infrastruktura Portu Lotniczego.

W omawianym modelu zamodelowano rzeczywistą geometrię i długości pasów startowych na kierunkach 33/15 i 29/11, drogi kołowania, miejsca dokowania i postoju samolotów. Podczas modelowania nie skupiano się na wiernej prezentacji obiektów 3D infrastruktury lotniska i ruchu pasażerów w hali odpraw ponieważ nie mają one znaczenia dla optymalizacji przepustowości samych operacji startów i lądowań w prezentowanym modelu.

## Statki Powietrzne.

W modelu wykorzystano komputerowe modele 3D statków powietrznych z rzeczywistą dynamiką startu i lądowania, zużyciem paliwa, emisji hałasu i CO2 stosownie do parametrów konkretnego statku powietrznego w kolejce startów i lądowań.

## Przyloty i odloty.

Przyloty następują zgodnie z planem przylotów, zadaną zmienną opóźnień wlotu w przestrzeń kontrolowaną lotniska oraz wynikającymi z tego poleceniami kontrolera TWR w celu uniknięcia kolizji. Odloty następują zgodnie z planem odlotów i poleceniami kontrolerów GND i TWR stosownie

do aktualnej sytuacji na lotnisku. Na rys. 3 pokazano kolejkę samolotów oczekujących na start w wyniku dużego natężenia lądowań. Możemy symulować rzeczywiste rozkłady lotów lub zadawać różne scenariusze natężenia ruchu szukając optymalnych wartości zgodnie z życzeniami eksperymntatora i założeń optymalizacyjnych.

### Opóźnienia przylotów i odlotów.

W celu oddania rzeczywistych warunków przylotów i odlotów należy uwzględnić rzeczywistą zmienność operacji lotniskowych stosownie do zakresu analizy. W prezentowanym modelu symulujemy rzeczywistą zmienność czasu startów i lądowań oraz czasu trwania operacji handlingowych. Każde zdarzenie opóźnienia jest rejestrowane i raportowane na wykresach kontrolnych. Dodatkowo rejestrujemy polecenia kontrolera ruchu „go around” przerywającą procedurę lądowania w przypadku zajętego pasa startowego.

### Dynamika statku powietrznego.

W prezentowanym programie symulacyjnym WITNESS istnieją nieograniczone możliwości symulacji ruchu dowolnego obiektu w tym statku powietrznego na ścieżce podejścia, w trakcie procedury startu czy kołowania. Uwzględniamy rzeczywiste prędkości startu, podejścia do lądowania, samego lądowania, kołowania oraz występujących przyspieszeń. Jeżeli chcemy możemy oceniać zużycie paliwa, emisję hałasu, CO2 oraz setki innych interesujących nas charakterystyk. W prezentowanym modelu oceniamy emisję hałasu i CO2.

### Obsługa samolotu przez operatorów handlingowych

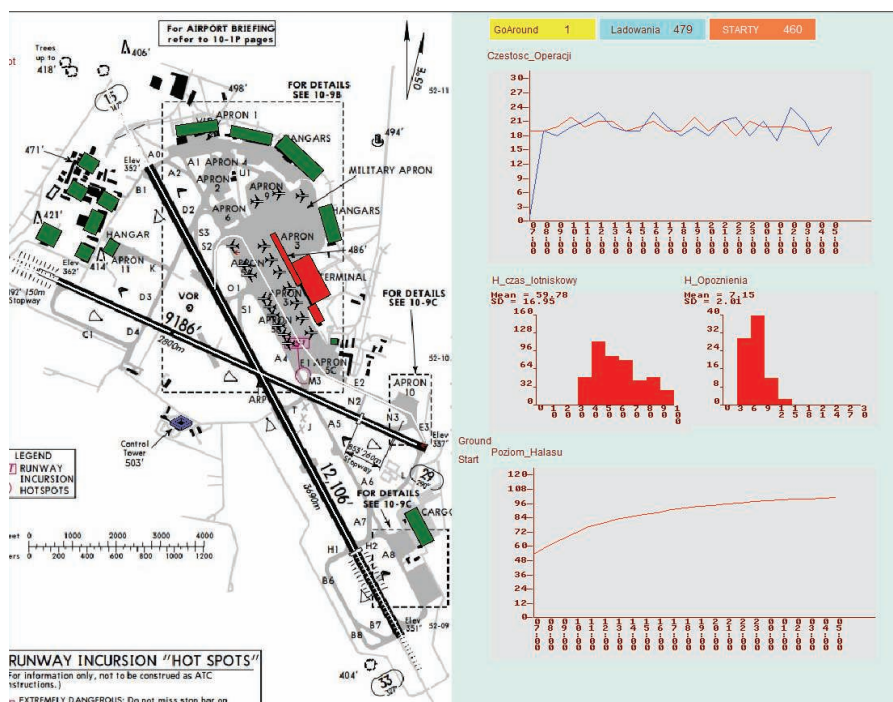
W praktyce możemy modelować i symulować dowolną sekwencję operacji wykonywanych na statku powietrznym przez operatorów handlingowych i optymalizować czas ich trwania. W przykładowym modelu ograniczono się do traktowania usługi handlingowej jako jednej zmiennej całkowitego czasu trwania operacji obsługi samolotu od zadokowania do gate'u lub zaparkowania na płycie do chwili oddokowania. Zmienna ta opisana jest rozkładem jednorodnym o dwóch wartościach granicznych (maks i min).

### Stewowanie ruchem przez kontrolerów GND i TWR

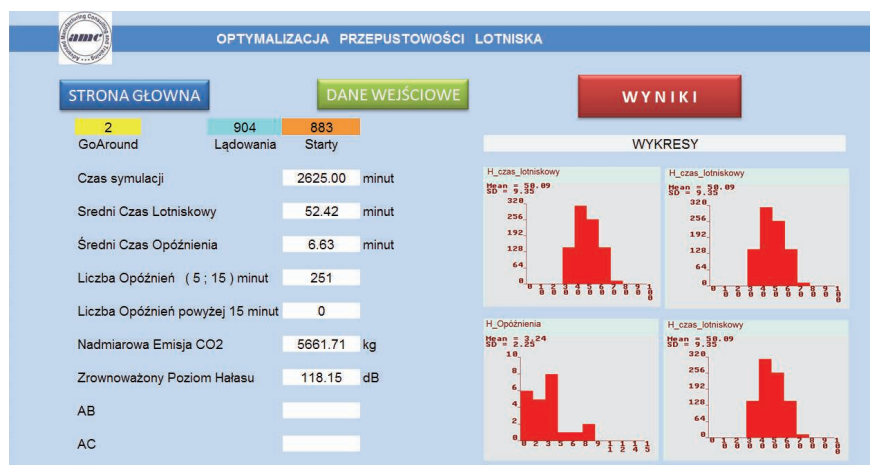
Algorytmy zastosowane w opisywanym



3. Kolejka 3 samolotów w oczekiwaniu na start



4. Okno kontroli pracy modelu Portu Lotniczego EPWA w programie WITNESS



5. Przykładowe okno wyników eksportowanych do programu Excel

modelu zapewniają bezkolizyjny ruch statków powietrznych w obrębie lotniska dokładnie tak jak robią to kontrolerzy ruchu na prawdziwym lotnisku. Zbyt duże zagęszczenie ruchu powoduje wstrzymanie zgody na kołowanie i start (rys. 3) oraz przerywanie podejścia do lądowania w przypadku niezwolnienia pasa startowego przez wcześniej lądujący/startujący

samolot. W prezentowanym modelu nie uwzględniono zmiennych warunków atmosferycznych, ale w razie potrzeby jest to jak najbardziej możliwe.

### Przebieg eksperymentu symulacyjnego i otrzymane wyniki.

W prezentowanym modelu szukamy mak-

symalnej przepustowości portu lotniczego w funkcji czasu trwania operacji handlingowych. Rysunek 4 przedstawia okno podglądu przebiegu eksperymentu symulacyjnego w grafice 2D w zadanym okresie czasu. Do oceny wyników optymalizacji wybrano następujące wskaźniki eksportowane dla wygody użytkownika do arkusza Excel (rys 5):

- liczby zdarzeń „go around” (odejść na drugi krąg)
- liczby przeprowadzonych startów i lądowań,
- liczba operacji start/lądowanie w czasie 1 godziny,
- liczba opóźnień startów powyżej 15 minut,
- liczba opóźnień startów zakresie od 5 minut do 15 minut,
- znormalizowana emisja hałasu na drodze startowej,
- całkowita emisja CO2 przez statki powietrzne na płycie lotniska.

W analizowanym przypadku ograniczono się do analizy operacji prowadzonych przez operatorów handlingowych. Prze-

prowadzone eksperymenty symulacyjne wykazały, że poprzez nieznaczne skrócenie czasu trwania działań handlingowych i związaną z tym zmianę organizacji pracy służb lotniskowych można zwiększyć przepustowość lotniska o 25% bez dodatkowych inwestycji. Istnieje jeszcze wiele innych, poza operacjami handlingowymi, zmiennych wpływających na przepustowość lotniska, które autorzy niniejszej publikacji z przyjemnością zaprezentują w kolejnym artykule.

## Podsumowanie.

Jak pokazuje praktyka wykorzystania narzędzi symulacyjnych Witness w portach lotniczych (6 z 10 największych portów lotniczych w Europie korzysta z omawianego oprogramowania), w ponad 90% przypadków znaczącą poprawę przepustowości można uzyskać w drodze zastosowania zdefiniowanych za pomocą modelu symulacyjnego tanich zmian organizacyjnych, bez konieczności ponoszenia wysokich (ryzykownych) nakładów finansowych na rozbudowę lotnisk, powiększanie ich are-

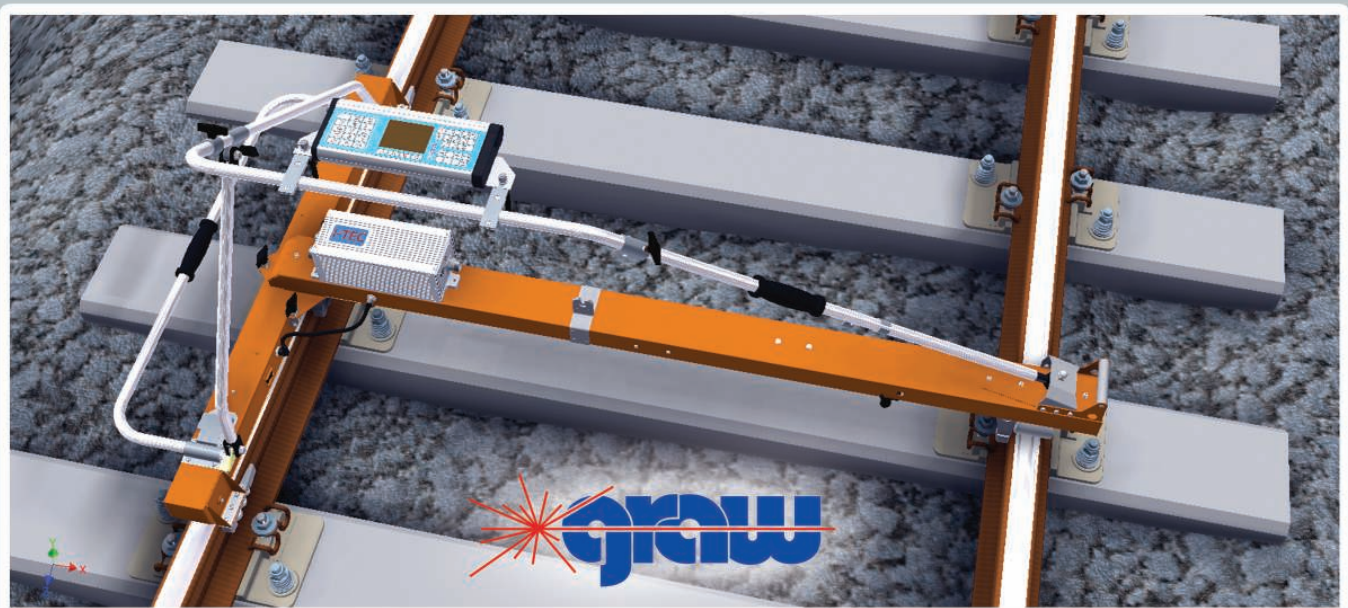
łu, rozbudowę infrastruktury, etc.

W prezentowanym przykładzie ograniczono się do analizy rezerw przepustowości ukrytych w efektywności operacji handlingowych i obsługi statków powietrznych. Przeprowadzone eksperymenty symulacyjne pokazują, że bez zmian infrastruktury lotniska można poprzez odpowiednie działania organizacyjne zwiększyć jego przepustowości o ponad 25%, zachowując wysokie standardy bezpieczeństwa i jakości obsługi pasażerów przy równoczesnym zmniejszeniu kosztu jednostkowego obsługi statku powietrznego.

Obserwacja dynamiki zmian w branży lotniczej skłania nas do postawienia tezy, że rywalizację na wymagającym rynku lotniczym wygra ten kto szybciej od konkurencji będzie potrafił optymalizować własne procesy operacyjne oraz będzie w stanie opracować nowe rozwiązania w czasie kilku dni, a nie miesięcy, czy nawet lat jak to ma miejsce przy stosowaniu klasycznych, mało dokładnych technik obliczeniowych.

## REKLAMA

# INERCYJNY TOROMIERZ DO ODBIORU PRAC INWESTYCYJNYCH - iTEC



[www.graw.com](http://www.graw.com)