



**Ewa Konieczko**

*Wydział Matematyczno-Przyrodniczy  
Akademia Jana Długosza w Częstochowie  
al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa*

## ANALIZA WPŁYWU LICZBY PASAŻERÓW NA CZAS EWAKUACJI PORTU LOTNICZEGO RADOM

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono proces tworzenia oraz wyniki przeprowadzonych symulacji procesu ewakuacji pasażerów z wykorzystaniem programu Pathfinder, na przykładzie Portu Lotniczego Radom. Symulacją bazową jest ewakuacja odwzorowana na podstawie ewakuacji przeprowadzonej w ramach ćwiczeń „RADOM 2016” epizod „Port Lotniczy”. Kolejno przeprowadzone zostały cztery modyfikacje symulacji bazowej.

**Słowa kluczowe:** ewakuacja, port lotniczy, Port Lotniczy Radom.

## THE INFLUENCE OF THE NUMBER OF PASSENGERS ON THE EVACUATION TIME OF RADOM AIRPORT

**Abstract.** The paper presents the development of evacuation model in Pathfinder software and the results of the simulation of passengers evacuation from Radom Airport. The base simulation is the one prepared on the basis of real evacuation carried out under “RADOM 2016” training. Four modifications of the base simulation are presented.

**Keywords:** evacuation, airport, Radom Airport.

## Wstęp

Port lotniczy jest miejscem, gdzie bezpieczeństwo jest najbardziej istotne. Co dzień spotykają się tam setki, a nawet tysiące osób. Głównym celem portu lotniczego, jest stworzenie odpowiednich, tj. bezpiecznych i bezawaryjnych, warunków obsługi pasażerów, obejmujących wykonywanie lotów, ochronę przed bezprawnymi aktami ingerencji, jak również ratownictwo lotniskowe.

Aspekt bezpieczeństwa to podstawowe kryterium, przy projektowaniu samolotów, pełni również bardzo ważną rolę w procesie projektowania obiektów naziemnych, takich jak terminale pasażerskie. Biorąc pod uwagę tysiące pasażerów, którzy codziennie korzystają z usług linii lotniczych, pierwszą najważniejszą cechą terminali powinna być funkcjonalność. Jednak nie można zapominać o bezpieczeństwie. Aby je zapewnić, należy spełnić, czasami surowe, przepisy dotyczące ochrony przeciwpożarowej, szczelności stref oraz możliwości swobodnej oraz płynnej ewakuacji w obliczu zagrożenia.

Na przebieg procesu ewakuacji wpływa wiele czynników, do podstawowych możemy zaliczyć parametry związane z czynnikiem ludzkim takie, jak wiek, płeć szybkość poruszania czy czas reakcji związany z porą dnia oraz miejscem, w którym się znajdujemy podczas ewakuacji [1, 2]. Kolejnym czynnikiem są warunki związane z rozwojem potencjalnego zagrożenia. Pomimo nieprzewidywalności procesu ewakuacji, dzięki programom komputerowym możemy proces ten lepiej poznać.

## Parametry wejściowe oraz proces tworzenia modelu

Podstawową częścią pracy było uzyskanie odpowiedzi na pytanie: jak liczba pasażerów wpływa na czas ewakuacji portu lotniczego. W tym celu przeprowadzone zostały symulacje ewakuacji pasażerów z Portu Lotniczego Radom. W pracy wykorzystano program symulacyjny Pathfinder.

Pathfinder jest symulatorem zachowania tłumu, przeznaczonym do modelowania złożonych scenariuszy ewakuacji. Program umożliwia wyznaczenie czasu bezpiecznego wyjścia z budynku, wykorzystując w obliczeniach algorytm sztucznej inteligencji. Wiele trybów symulacji i definiowalne cechy pracowników znajdujących się w budynku z łatwością pozwalają na odkrywanie różnych scenariuszy ewakuacji. Pathfinder jest specjalnym typem symulatora, gdzie każdy zdefiniowany pracownik posiada szereg indywidualnych cech, które mogą wpływać na jego ruchy i decyzje podczas symulacji niezależnie od innych jednostek [3].

W ramach pracy przeprowadzona została symulacja bazowa oraz 4 modyfikacje tej konfiguracji.

Tab. 1. Zestawienie założeń poszczególnych konfiguracji

\*zastosowane w stosunku do pasażerów, nie w stosunku do pracowników portu oraz służb ratunkowych.

<b>Konfiguracje</b>	<b>Liczba pasażerów</b>	<b>Wzorzec zachowania uwzględniający początkowe opóźnienie</b>	<b>Wzorzec zachowania uwzględniający zerowe początkowe opóźnienie *</b>
Konfiguracja bazowa	129	Tak	Tak
Modyfikacja konfiguracji bazowej nr 1	229	Tak	Tak
Modyfikacja konfiguracji bazowej nr 2	329	Tak	Tak
Modyfikacja konfiguracji bazowej nr 3	429	Tak	Tak
Modyfikacja konfiguracji bazowej nr 4	529	Tak	Tak

Każda konfiguracja obejmowała wykonanie dwóch symulacji ewakuacji z daną liczbą osób przebywających na terenie portu lotniczego. Pierwsza – z zastosowaniem pięciu różnych wzorców zachowania, oraz druga – z natychmiastową reakcją na ewakuację.

Pierwszą symulacją, a zarazem konfiguracją bazową, wykonaną z wykorzystaniem programu jest odwzorowanie ewakuacji przeprowadzonej 8 września 2016 r. w ramach ćwiczeń „RADOM 2016” epizod „Port Lotniczy”. Ćwiczenie miało na celu przeprowadzenie wspólnego działania służb lotniskowych i zewnętrznych służb państwowych w sytuacji zagrożenia.

W celu odwzorowania warunków ewakuacji przeprowadzonej w ramach ćwiczenia, w symulacji uwzględniono następujące pomieszczenia terminalu:

- hall ogólnodostępny wraz z szatnią;
- bar wraz z zapleczem;
- toaletę męską w części ogólnodostępnej;
- pomieszczenia biurowe.

Pomieszczenia obejmują łącznie powierzchnię 700 m<sup>2</sup>. Ewakuacja osób z budynku została przeprowadzona za pomocą siedmiu wyjść ewakuacyjnych:

- 4 wyjścia ewakuacyjne o szerokości 140 cm,
- 2 wyjścia o szerokości 90 cm,
- oraz drzwi o łącznej szerokości 135 cm.

W celu narysowania wszystkich pomieszczeń, które zostały uwzględnione w symulacji ewakuacji, wykorzystano podkład graficzny, zimportowany w formacie DXF, przedstawiający terminal pasażerski Portu Lotniczego Radom. Pomieszczenia oraz drzwi zostały utworzone narzędziami rysunku Pathfinder.



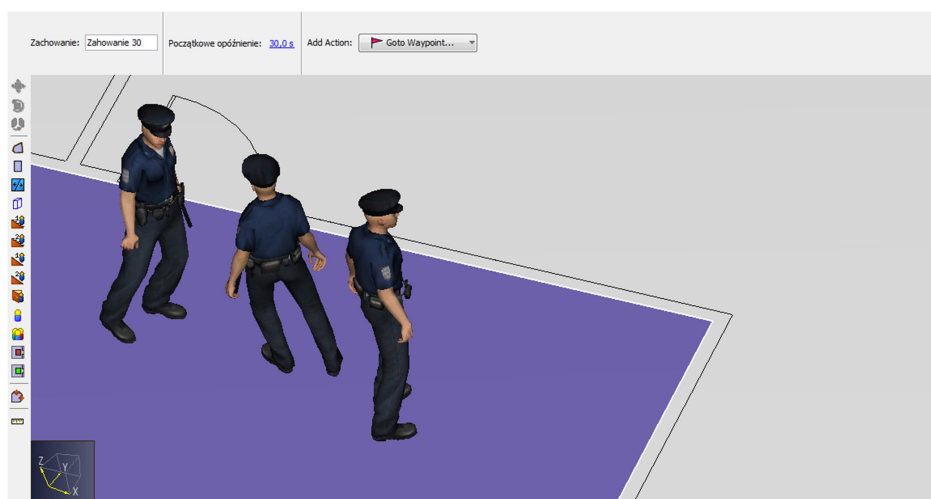
Rys. 1. Rzut terminalu pasażerskiego z uwzględnioną częścią, która została wykorzystana w symulacji ewakuacji pasażerów

W symulacji pierwszej zastosowano 5 wzorców zachowania, celem odwzorowania rzeczywistego zachowania osób w trakcie zagrożenia. Zachowania 1–4 obejmowały opuszczenie terminalu dowolnym wyjściem, z wyjątkiem drzwi nr 002, ponieważ drzwi te znajdują się w części biurowej. Zachowanie 5 bazowało na podążaniu do dowolnego wyjścia.

Zachowania głównie różniły się początkowym opóźnieniem:

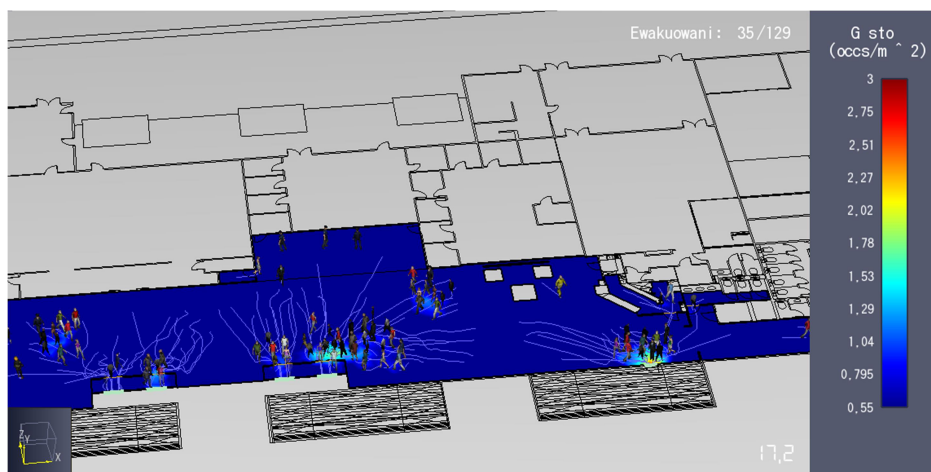
- zachowanie 1: początkowe opóźnienie 0 s,
- zachowanie 2 : początkowe opóźnienie 4 s,
- zachowanie 3: początkowe opóźnienie 9 s,
- zachowanie 4: początkowe opóźnienie 15 s,
- zachowanie 5: początkowe opóźnienie 30s.

Zachowanie 5 zastosowane zostało w stosunku do pracowników portu oraz służb ratowniczych. Osoby te ewakuację rozpoczynają w momencie, gdy ostatni pasażerowie opuszczają teren terminalu.



Rys. 2. Okno edycji Zachowania 5 zastosowanego w stosunku do pracowników portu oraz służb ratowniczych

Modelem zachowania wykorzystanym we wszystkich symulacjach jest model zmiennosterujący. W hallu ogólnodostępnym znajdowało się 119 osób, w części biurowej 10 osób.



Rys. 3. Widok procesu ewakuacji pasażerów – konfiguracja bazowa

Po upływie 47,3 sekund ewakuowane zostały wszystkie osoby z terminalu pasażerskiego.

W symulacji drugiej w celu sprawdzenia teorii, że to liczba pasażerów ma istotny wpływ na czas procesu ewakuacji, przeprowadzona została symulacja tej samej liczby pasażerów, jednak z wykorzystaniem innych wzorców zachowania:

- Zachowanie 1: początkowe opóźnienie 0 s,
- Zachowanie 2: początkowe opóźnienie 25 s (zastosowane w stosunku do pracowników portu oraz służb ratowniczych).

Ewakuacja osób odwzorowana na podstawie przeprowadzonych ćwiczeń z uwzględnieniem zerowego opóźnienia czasowego w stosunku do pasażerów przebywających na terenie portu trwała 45,8 sekundy.

Kolejno analogicznie przeprowadzone zostały modyfikacje konfiguracji bazowej.

## Podsumowanie uzyskanych wyników

Tab. 2. Zestawienie otrzymanych wyników symulacji

	<b>Wzorzec zachowania uwzględniający początkowe opóźnienie</b>	<b>Wzorzec zachowania uwzględniający zerowe początkowe opóźnienie</b>
<b>Konfiguracja bazowa</b>	47,3 s	45 s
<b>Modyfikacja nr 1</b>	53 s	45,3 s
<b>Modyfikacja nr 2</b>	57,3 s	49,5 s
<b>Modyfikacja nr 3</b>	64 s	58,3 s
<b>Modyfikacja nr 4</b>	78,3 s	68,8 s

Konfiguracja bazowa obejmowała przebywanie 129 osób na terenie terminalu pasażerskiego, w tym 80 pasażerów znajdujących się bezpośrednio w hallu ogólnodostępnym. Ewakuacja z zastosowaniem pięciu wzorców zachowania trwała 47,3 sekundy, z kolei czas ewakuacji z zastosowaniem zerowego opóźnienia czasowego zmniejszył się do 45 sekund.

Modyfikacja nr 1 obejmowała przebywanie 180 pasażerów oraz 49 pracowników portu lotniczego. Czas ewakuacji osób z zastosowaniem 5 wzorców zachowania trwał 53 sekundy. Tylko o 7,7 sekundy mniej trwała ewakuacja osób z zastosowanym wzorcem natychmiastowej reakcji.

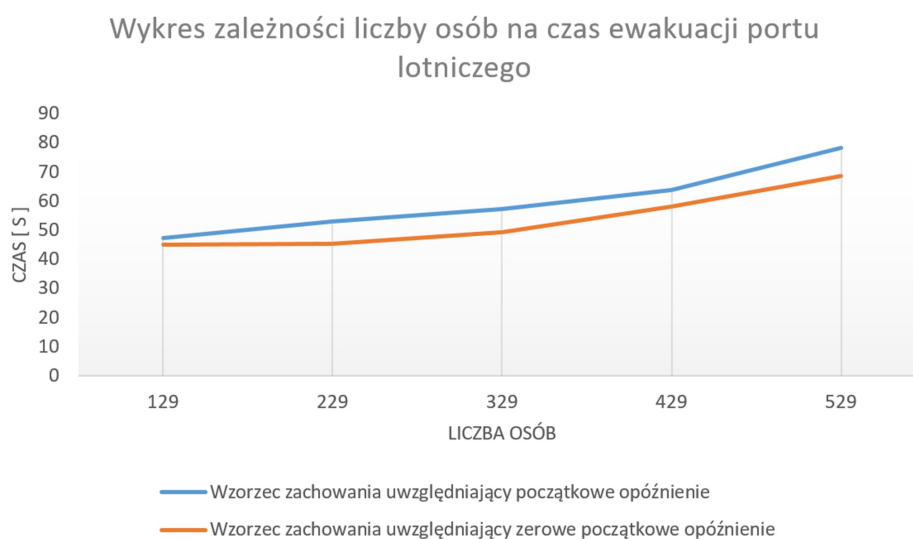
W kolejnej modyfikacji konfiguracji bazowej zwiększono liczbę pasażerów znajdujących się w hallu ogólnodostępnym do 280. Liczba pracowników portu pozostała bez zmian. W symulacji pierwszej osoby zostały ewakuowane

w czasie 57,3 sekund. W symulacji drugiej czas ten zmniejszył się do 49,5 sekund.

Modyfikacja numer 3 obejmowała ewakuację 380 pasażerów portu lotniczego. Podobnie jak w przypadku poprzedniej konfiguracji liczba pracowników portu nie uległa zmianie. Ewakuacja osób z terminalu z zastosowaniem opóźnienia początkowego trwała 64 sekundy. W przypadku zastosowania zerowego opóźnienia początkowego czas ten wyniósł 58,3 sekund.

W ostatniej modyfikacji konfiguracji bazowej liczba pasażerów przebywających w hallu ogólnodostępnym wynosiła 480. Dalsze zwiększanie liczby pasażerów nie było możliwe z uwagi na brak miejsca. Symulacja obejmowała ewakuację 529 osób. W wyniku symulacji pierwszej czas ten wyniósł 78,3 sekundy, z kolei symulacja druga dała wynik 68,8 sekund.

Po przeprowadzeniu pięciu symulacji można zauważyć, że niezależnie od zastosowanych wzorców zachowania, na czas ewakuacji największy wpływ ma liczba osób biorących udział w procesie. Zależność doskonale przedstawia wykres poniżej.



Rys. 4. Porównanie czasów ewakuacji uzyskanych z wykorzystaniem programu symulacyjnego

## Wnioski

W pracy przedstawiona została symulacja odwzorowania ewakuacji osób przeprowadzona w ramach ćwiczeń „RADOM 2016” epizod „Port Lotniczy” oraz cztery modyfikacje tej konfiguracji. Czas ewakuacji osób z terminalu pasa-

żerskiego uzyskany w trakcie ćwiczeń (około 1 minuta [4]) w porównaniu do czasu uzyskanego w wyniku przeprowadzonej symulacji bazowej różni się o około 12 do 15 sekund, w zależności od zastosowanych wzorców. Wyniki też są bardzo zbliżone do siebie, możemy więc założyć, że ewakuacja w warunkach ćwiczeń przebiegała podobnie jak z użyciem symulatora. Powodem różnicy w uzyskanym czasie może być początkowe opóźnienie, uproszczenia przyjęte w modelu czy sam dobór zachowania

Hall ogólnodostępny portu zgodnie z przepisami ochrony przeciwpożarowej [5, 6] przystosowany jest do jednoczesnego przebywania 200 osób, dzięki symulacji możemy zauważyć, że przy takiej liczbie pasażerów ewakuacja przebiega sprawnie. W momencie, kiedy ewakuowanych osób jest o ponad 2 razy więcej, czas wydłuża się od 50 do 62%, a sam proces nie przebiega tak płynnie. Analizując przebieg wszystkich symulacji, można zauważyć tworzenie się zatorów przy wyjściu ewakuacyjnym bezpośrednim z hallu ogólnodostępnego (drzwi o szerokości 90 cm). Czas ewakuacji mógłby ulec zmniejszeniu, dzięki wyeliminowaniu tego problemu. Poszerzenie drzwi do szerokości np. 140 cm zwiększyłoby ich przepustowość, a co za tym idzie, ewakuacja przebiegałaby szybciej i sprawniej.

## Literatura

- [1] Joseph L. Smith, *Agent-Based Simulation of Human Movements During Emergency Evacuations of Facilities*, Structures Congress 2008, DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/41016\(314\)90](http://dx.doi.org/10.1061/41016(314)90)
- [2] Cłapa I., Dziubiński M. *Zachowanie ludzi jako jeden z czynników determinujących przebieg procesu ewakuacji*, Wydawnictwo CNBOP-PIB, 2014.
- [3] <http://pyrosim.pl/o-pathfinder/> (odwiedzony: 03.06.2017 r.)
- [4] Raport z przebiegu ćwiczenia pod nazwą „RADOM 2016” Epizod „Port Lotniczy” w dniu 08 września 2016 r.
- [5] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz. U. 1991 nr 81 poz. 351).
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2010 nr 109 poz. 719).