



**Marcin Sosnowski, Karolina Górka**

*Akademia im. Jana Długosza*

*al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa*

*e-mail: m.sosnowski@ajd.czyst.pl*

## ANALIZA NUMERYCZNA WPŁYWU PARAMETRÓW CIĄGÓW KOMUNIKACYJNYCH NA CZAS EWAKUACJI MIESZKAŃCÓW

**Streszczenie.** W ramach pracy przeprowadzone zostały analizy numeryczne dotyczące ewakuacji mieszkańców Domu Studenckiego „Skrzat” w Częstochowie. W wyniku przeprowadzonych badań zdefiniowano wpływ parametrów ciągów komunikacyjnych na czas ewakuacji oraz opracowano rekomendacje w zakresie modernizacji obiektu, zmierzającej do zminimalizowania czasu ewakuacji.

**Słowa kluczowe:** ewakuacja, analiza numeryczna, model zmiennie-sterujący.

## NUMERICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF RELOCATION ROUTS PARAMETERS ON INHABITANTS EVACUATION TIME

**Abstract.** Numerical analysis of evacuation of Skrzat dormitory in Częstochowa were carried out in the paper. The influence of relocation routs parameters on inhabitants evacuation time was analyzed within the confines of the paper. Moreover, the recommendations concerning redesigning the dormitory were developed in order to minimize the evacuation time.

**Keywords:** evacuation, numerical analysis, steering mode.

## Wprowadzenie

Pożar w budynku zawsze zagraża życiu ludzkiemu, stąd ewakuacja osób z obiektów zagrożonych jest istotnym problemem. Miejsca użyteczności publicznej oraz obiekty zamieszkania zbiorowego (uczelnie, szkoły, szpitale, hale sportowe, domy studenckie itp.) są w większym stopniu narażone na wystąpienie zagrożenia, ponieważ znajdują się w nich duże skupiska ludzi. Dlatego też tak ważne jest przeprowadzanie próbnych ewakuacji, aby każdy potencjalnie zagrożony mógł dowiedzieć się, jak należy się zachować i co robić w trakcie wystąpienia zagrożenia [1, 4].

Nie tylko zachowanie ludzi warunkuje przebieg ewakuacji. Bardzo ważnym czynnikiem są również parametry ciągów komunikacyjnych, które muszą być dostosowane do szybkiego wydostania się z budynku dużej liczby osób.

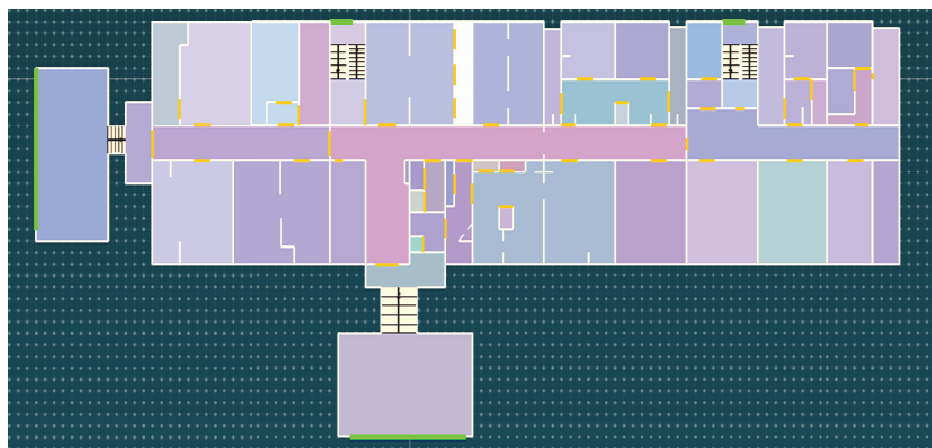
W analizach scenariuszy ewakuacji wykorzystać można narzędzia komputerowe, za pomocą których dokonuje się symulowania ewakuacji w przestrzeni wirtualnej, odwzorowującej rzeczywiste obiekty [5, 6]. Narzędzia takie, na podstawie zdefiniowanych parametrów wejściowych (geometria budynku, szerokość schodów i drzwi ewakuacyjnych, liczba i cechy psychofizyczne osób w badanym obszarze), definiują czas potrzebny do ewakuacji wszystkich zagrożonych osób. Prowadzenie tego typu analiz jest bardzo korzystne, ponieważ nie niesie ze sobą żadnych kosztów i nie jest uciążliwe dla mieszkańców, a jednocześnie pozwala na przeanalizowanie szeregu scenariuszy.

## Obiekt badań

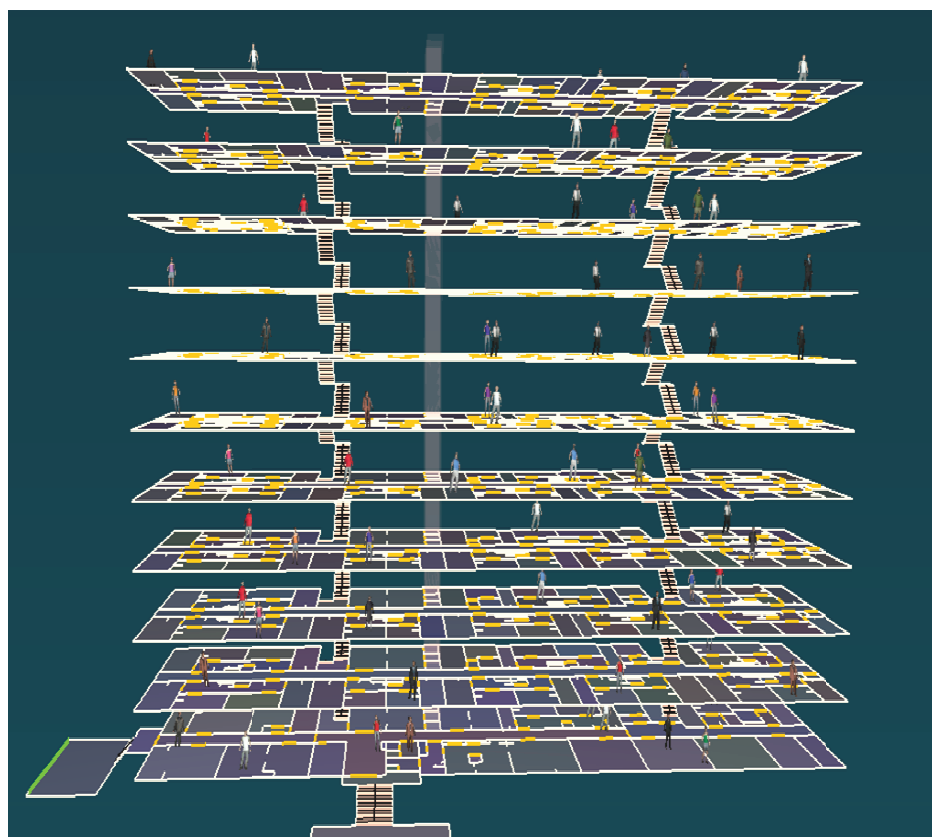
Obiektem badań był Dom Studencki „Skrzat” zlokalizowany przy ulicy Dąbrowskiego w Częstochowie. Wyboru takiego dokonano z uwagi na dostęp do planów budynku oraz wyników badań eksperymentalnych dotyczących ewakuacji jego mieszkańców. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wirtualny model obiektu badań w rzucie z góry oraz w rzucie 3D.

## Parametry wejściowe i walidacja modelu

Z uwagi na charakter wykorzystania budynku, jako mieszkańców zdefiniowano osoby o charakterystyce zachowań odpowiadającej mężczyznom do 30 roku życia i kobietom w tym samym wieku. W szczególności zdefiniowano prędkości poruszania się w terenie płaskim, zgodnie z tabelą 1. Analizy przeprowadzono dla pełnego obłożenia budynku, wynoszącego 550 osób.



Rys. 1. Widok parteru analizowanego obiektu



Rys. 2. Widok wirtualnego modelu analizowanego obiektu

Opracowując wirtualny model ewakuacji, zakłada się, że ewakuujące się osoby przemieszczają się z miejsca początkowego do wyjścia, dokonując wyboru optymalnej trasy ewakuacji z wykorzystaniem jednego z dwóch algorytmów decyzyjnych: model zmienno-sterujący lub model SFPE [9, 10]. W przypadku pierwszego z nich poszczególne osoby zmierzają do celu, unikając pozostałych ludzi i przeszkód. Liczba osób przechodzących przez drzwi wynika z interakcji geometrycznej pomiędzy ewakuującymi się osobami oraz otoczeniem. W modelu SFPE modelowane osoby wykorzystują zachowania zgodne z wytycznymi SFPE wraz z zależnymi od zagęszczenia prędkościami przemieszczania oraz przepływami przez drzwi. Wyniki wygenerowane z zastosowaniem tego modelu nie eliminują jednak możliwości zajmowania tej samej przestrzeni przez kilka osób jednocześnie.

Tab. 1. Prędkość przemieszczania się ludzi na płaskim terenie [2, 7]

Grupy ludności	Prędkość	
	min [m/s]	max [m/s]
Kobiety młodsze niż 30 lat	<b>0,93</b>	<b>1,55</b>
Kobiety w wieku 30-50 lat	0,71	1,19
Kobiety starsze niż 50 lat	0,56	0,94
Mężczyźni młodszy niż 30 lat	<b>1,11</b>	<b>1,85</b>
Mężczyźni w wieku 30-50 lat	0,97	1,62
Mężczyźni starszy niż 50 lat	0,84	1,4

W celu określenia optymalnego modelu i jego parametrów dokonano analiz wstępnych, mających na celu zwalidowanie modelu na podstawie danych eksperymentalnych, uzyskanych w trakcie próbnej ewakuacji mieszkańców analizowanego budynku, którą przeprowadzono zgodnie z obowiązującymi w nim wymogami ppoż. [3, 8]. W rezultacie przeprowadzonej walidacji modelu do dalszych analiz wybrano model zmienno-sterujący, gdyż wyniki uzyskane z jego wykorzystaniem różniły się o około 2% od danych eksperymentalnych. W przypadku modelu SFPE różnica ta sięgała 13%.

## Badane konfiguracje i uzyskane wyniki

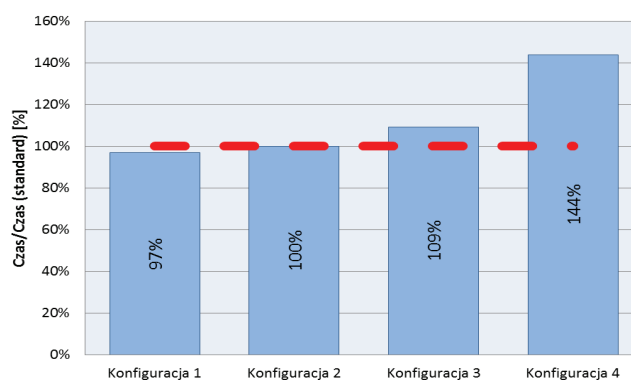
W badaniach skupiono się na szerokości schodów ewakuacyjnych i określono jej wpływ na czas ewakuacji. Przeprowadzono analizy dla czterech konfiguracji:

- konfiguracja 1 – schody szersze od istniejących w obiekcie o 10%,
- konfiguracja 2 – schody istniejące w obiekcie,
- konfiguracja 3 – schody węższe od istniejących w obiekcie o 10%,
- konfiguracja 4 – schody węższe od istniejących w obiekcie o 20%.

Tab. 2. Wyniki badań symulacyjnych

Numer konfiguracji	Czas ewakuacji [s]
<b>Konfiguracja 1</b>	745
<b>Konfiguracja 2</b>	769
<b>Konfiguracja 3</b>	841
<b>Konfiguracja 4</b>	1106

W wyniku przeprowadzonych analiz numerycznych z wykorzystaniem zwalidowanego modelu zmienno-sterującego uzyskano wyniki przedstawione w tabeli 2. Na rysunku 3 przedstawiono natomiast wyniki w ujęciu procentowym odniesione do konfiguracji ze standardową szerokością schodów (konfiguracja 2).



Rys. 3. Procentowa zmiana czasu ewakuacji mieszkańców dla różnej szerokości schodów ewakuacyjnych

## Wnioski

Wyniki badań symulacyjnych, przeprowadzonych z wykorzystaniem modelu zmienno-sterującego, który został zwalidowany dla analizowanego obiektu, wykazały, iż zwiększenie szerokości schodów ewakuacyjnych o 10% powoduje zmniejszenie czasu ewakuacji o zaledwie 3%, natomiast zmniejszenie sze-

rokości schodów o 10% skutkuje 9% wydłużeniem czasu ewakuacji. Ponadto zmniejszenie szerokości schodów ewakuacyjnych o 20% powoduje drastyczne zwiększenie czasu ewakuacji – o 44%. W związku z powyższym, dla analizowanego obiektu przebudowa ciągów komunikacyjnych nie byłaby efektywna i nie przyniosłaby istotnej poprawy czasu ewakuacji. Celowym wydaje się natomiast analiza czynnika ludzkiego, zmierzająca do opracowania scenariusza szkoleń organizowanych dla mieszkańców obiektu. Szkolenia takie mogłyby w znacznym stopniu poprawić świadomość mieszkańców i w konsekwencji przyczynić się do zmniejszenia czasu ich ewakuacji.

## Literatura

- [1] Ronchi E., Colonna P., Capote J., Alvear D., Berloco N., Cuesta A., The evaluation of different evacuation models for assessing road tunnel safety analysis, *Tunnelling and Underground Space Technology* 2012, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tust.2012.02.008>
- [2] Guidelines for Evacuation Analysis for New and Existing Passenger Ships, 2007, International Maritime Organization.
- [3] Instrukcja Bezpieczeństwa Pożarowego dla Domu Studenta „Skrzat”.
- [4] Kuligowski E., Predicting Human Behavior During Fires. *Fire Technology*, 2013, 49(1), p. 101–120, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10694-011-0245-6>
- [5] Prauzner T., Ptak P., Programy symulacyjne w inżynierii bezpieczeństwa, *Journal of Technology and Information Education, Strategie technického vzdělávání v reflexi doby*, Olomouc 2011, s. 292–296.
- [6] Prauzner, T., Zastosowanie programów symulacyjnych w nauczaniu przedmiotów technicznych, *Prace Naukowe AJD, Edukacja Techniczna i Informatyczna*, Częstochowa 2006, s. 121–128.
- [7] Ronchi E., and other, Representation of the Impact of Smoke on Agent Walking Speeds in Evacuation Models, *Fire Technology*, 2013, 49(2), s. 411–431, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10694-012-0280-y>
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 75, poz. 690 z późn. zm.).
- [9] Sosnowski M., Pisarek J., Comparative analysis of evacuation modelling using different numerical models, *Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie. Technika, Informatyka, Inżynieria Bezpieczeństwa*, t. 2, 2014, DOI: <http://dx.doi.org/10.16926/tiib.2014.02.33>
- [10] Tissera P.C., and other, Evacuation simulation supporting high level behaviour-based agents, 2013 International Conference on Computational Science, 2013, 18, p. 1495–1504.