

mgr inż. Iwona Orłowska^{a)}, prof. dr hab. inż. Marek Dziubiński^{a)*}^{a)}Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka / Faculty of Process and Environmental Engineering, Lodz University of Technology

*Autor korespondencyjny / Corresponding author: ivona2005@wp.pl

Stochastyczny charakter procesu ewakuacji ludzi z budynków

The Stochastic Nature of the Fire Evacuation of People from Buildings

Стохастический характер процесса эвакуации людей из зданий

ABSTRAKT

Cel: Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie stochastycznego, a więc przypadkowego, zależnego od wielu zmiennych, charakteru procesu ewakuacji ludzi z budynków. Proces ten zależy od zachowania się i prędkości przemieszczania się ewakuujących się ludzi.

Wprowadzenie: W artykule opisano wymagany czas bezpiecznej ewakuacji, na który składają się: czas detekcji, czas alarmowania, czas wstępnych reakcji użytkowników obiektu i czas przejścia. Ponadto korzystając z literatury przedmiotu, przedstawiono najczęściej obserwowane zachowania ludzi po ogłoszeniu alarmu pożarowego, którymi są: kończenie rozpoczętych czynności; pakowanie i zabieranie rzeczy osobistych; szukanie członków rodziny; próby gaszenia pożaru; przyglądanie się temu, co się dzieje; wykorzystywanie panującego zamieszania do podejmowania prób kradzieży i wiele innych. Zachowania te wydłużają czas ewakuacji, a tym samym negatywnie wpływają na poziom bezpieczeństwa ludzi. Dodatkowo zebrano przedstawione w literaturze przedmiotu prędkości przemieszczania się ludzi zależne od: zagęszczenia użytkowników budynku na drogach ewakuacyjnych; sposobu ich przemieszczania się; warunków panujących w obiekcie; typu miejsca, z którego należy się ewakuować; charakterystyki osób ewakuujących się (ich płci, gabarytów ciała, kondycji fizycznej) oraz geometrii drogi ewakuacyjnej. Wykonano też eksperyment potwierdzający stochastyczny charakter nie tylko zachowania się ludzi podczas ewakuacji, ale także prędkości, z jaką się oni przemieszczają.

Wnioski: Przegląd dostępnej literatury przedmiotu pozwolił na stwierdzenie, że całkowity czas oraz przebieg ewakuacji w znacznej mierze zależą nie tylko od zachowania się ludzi, lecz także – gdy w obiekcie jest zainstalowany system wczesnego wykrywania pożaru i alarmowania o nim – od prędkości, z jaką się oni przemieszczają. Potwierdzono, że proces ten ma charakter stochastyczny.

Znaczenie dla praktyki: Eksperyment przeprowadzony z udziałem strażaków jednostki ratowniczo-gaśniczej Komendy Powiatowej Państwowej Straży Pożarnej w Pabianicach (KP PSP w Pabianicach) potwierdza, że nawet ta sama osoba w tych samych warunkach za każdym razem porusza się z inną prędkością, przez co niemożliwe jest, żeby ewakuacja z obiektu była powtarzalna. Eksperyment porównano z symulacją komputerową wykonaną w programie Pathfinder, jednym z najpopularniejszych narzędzi inżynierii bezpieczeństwa pożarowego.

Słowa kluczowe: ewakuacja, zachowanie się ludzi, prędkość przemieszczania się, eksperyment

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 19.02.2018; Zrecenzowany: 29.06.2018; Zatwierdzony: 05.07.2018;

Procentowy wkład merytoryczny: I. Orłowska – 80%; M. Dziubiński – 20%;

Identyfikator ORCID autorów: I. Orłowska – 0000-0002-7134-0542; M. Dziubiński – 0000-0002-0208-3570;

Proszę cytować: BiTP Vol. 50 Issue 2, 2018, pp. 90–106, doi: 10.12845/bitp.50.2.2018.7;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRACT

Aim: The purpose of this article is to present the stochastic nature of the process of evacuating people from buildings. This process depends on the behaviour of the group of evacuees, as well as the speed of their movement.

Introduction: The article enumerates the elements involved in the estimated safe evacuation time, such as detection time, notification, the initial reactions of the people inside the building, and movement time. The most common reactions to fire alarms such as: trying to finishing the already started activities, packing and collecting personal belongings, looking for missing family members, attempts to extinguish the fire, trying to investigate the situation, theft attempts, etc., have been shown. These extends the evacuation time and results in lower safety levels for the evacuees. What is more, the article features human movement speed data which has been obtained from academic sources and which takes into consideration such circumstances as human traffic congestion on the escape routes, the types of movement, the specific conditions in the building, the type of place from which people are evacuating, the individual characteristics of the evacuees (such as gender, body weight and fitness levels) and finally the features of the escape route. An experiment has been carried out that not only showed the changing nature of human behaviour during evacuation but also proved the changeability of evacuation speeds of the same people in similar circumstances.

Conclusions: A review of the available academic sources has been used to estimate the total evacuation time and analyse the progress of evacuation, which in turn has revealed that it is not only human behaviour that matters during evacuation but also the existence of the fire alarm systems in the

building, as well as the speed of evacuation of every individual. It has been proven that the process is stochastic in nature, i.e. random, and depends on many variables.

Practical significance: the experiment that has been carried out with the help from the firefighters from the local unit in Pabianice has confirmed that even the same person, in similar circumstances, can move at very different speeds, which means that it is impossible to perform exactly the same evacuation operation twice. The experiment was compared with a computer simulation made in the Pathfinder program, one of the most popular tools for fire safety engineering.

Keywords: evacuation, human behaviour, speed of movement, experiment

Type of article: original scientific article

Received: 19.02.2018; Reviewed: 29.06.2018; Accepted: 05.07.2018;

Percentage contribution: I. Orłowska – 80%; M. Dziubiński – 20%;

Authors' ORCID IDs: I. Orłowska – 0000-0002-7134-0542; M. Dziubiński – 0000-0002-0208-3570;

Please cite as: BITP Vol. 50 Issue 2, 2018, pp. 90–106, doi: 10.12845/bitp.50.2.2018.7;

This is an open access article under the <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью этой статьи является представление стохастического и, следовательно, случайного, зависящего от многих переменных, характера процесса эвакуации людей из зданий. Этот процесс зависит от поведения и скорости движения эвакуированных.

Введение: В статье описывается время, необходимое для безопасной эвакуации, которое состоит из: времени обнаружения, времени тревоги, времени первоначальных реакций пользователей объекта и времени выхода. Кроме того, на основе использованной по этому вопросу литературы, представлены наиболее часто наблюдаемые виды поведения людей после объявления пожарной тревоги, которые включают: завершение начатых действий; упаковку и вынос личных вещей; поиск членов семьи; попытки потушить огонь; наблюдение за происходящим; использование хаоса для попыток совершения кражи и так далее. Такое поведение продлевает время эвакуации и, таким образом, отрицательно влияет на уровень безопасности людей. Кроме того, скорости перемещения людей, описанные в литературе по этому предмету, были систематизированы в зависимости от: плотности пользователей здания на маршрутах эвакуации; способа их перемещения; условий на объекте; типа места, подлежащего эвакуации; характеристик эвакуированных (их пол, размеры тела, физическое состояние) и геометрии пути эвакуации. Был также проведен эксперимент, подтверждающий стохастический характер не только поведения людей во время эвакуации, но и скорости их перемещения.

Выводы: Обзор имеющейся литературы позволил установить, что общее время и ход эвакуации в значительной степени зависят не только от поведения людей, но и – если на объекте установлена система раннего обнаружения пожара и сигнализации – от скорости, с которой они перемещаются. Было подтверждено, что этот процесс является стохастическим.

Значение для практики: Эксперимент, который проводился с участием пожарной спасательной бригады районного штаба Государственной противопожарной службы в Пабяницах (РШ ГПС в Пабяницах) подтверждает, что даже один и тот же человек при тех же условиях, каждый раз движется с другой скоростью, поэтому невозможно, чтобы эвакуация с объекта была одинаковой. Эксперимент был сопоставлен с компьютерным симулятором, сделанным в программе Pathfinder, одним из самых популярных инструментов для обеспечения пожарной безопасности.

Ключевые слова: эвакуация, поведение людей, скорость движения, эксперимент

Вид статьи: оригинальная научная статья

Принята: 19.02.2018; Рецензирована: 29.06.2018; Одобрена: 05.07.2018;

Процентное соотношение участия в подготовке статьи: I. Orłowska – 80%; M. Dziubiński – 20%;

Идентификаторы ORCID авторов: I. Orłowska – 0000-0002-7134-0542; M. Dziubiński – 0000-0002-0208-3570;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BITP Vol. 50 Issue 2, 2018, pp. 90–106, doi: 10.12845/bitp.50.2.2018.7;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Wprowadzenie

Współczesny świat niesie wiele zagrożeń. Jednym z nich jest powstanie pożaru, który stwarza realne niebezpieczeństwo dla zdrowia, życia i mienia ludzi. W przypadku jego powstania konieczne jest przeprowadzenie ewakuacji osób z budynku ze względu na występowanie w nim warunków, które mogą zagrażać ich życiu. Biorąc pod uwagę właściwości dymu, można stwierdzić, że podstawowymi czynnikami negatywnie wpływającymi na ludzi są: ograniczenie widzialności, toksyczne produkty spalania, niedostatek tlenu, temperatura gazów powstających w trakcie pożaru, płomienie i ich oddziaływanie. Ważne jest, żeby ludziom zapewnić bezpieczne warunki podczas ewakuacji.

Introduction

The contemporary world is fraught with threats, including the potential occurrence of fires. A fire is a real danger to health, life and property. When it occurs, it is necessary to carry out an evacuation operation for people to leave the building due to the emergence of life-threatening conditions inside. Taking into consideration the effects of smoke, it can be stated that the primary factors adversely affecting people are: reduced visibility, toxic combustion products, oxygen deficiency, the temperature of gases emitted during fire, and flames and their effects. It is important to ensure safe conditions for evacuation.

Wymagany czas bezpiecznej ewakuacji

Polskie regulacje prawne określają, że z pomieszczeń przeznaczonych na pobyt ludzi powinna być zapewniona możliwość ich ewakuacji w bezpieczne miejsce na zewnątrz budynku lub do sąsiedniej strefy pożarowej, bezpośrednio albo drogami komunikacji ogólnej [1]. Warunki techniczne [1] dokładnie określają parametry i wymagania dla dróg ewakuacyjnych, a zapewnienie bezpiecznej ewakuacji z obiektu w przypadku powstania pożaru jest priorytetem działań w zakresie ochrony przeciwpożarowej [2]. Z tego względu w procesie budowlanym coraz częściej analizowane są:

- dostępny czas bezpiecznej ewakuacji – *DCBE* (Available Safe Evacuation Time – *ASET*), który zgodnie z definicją oznacza wyliczony czas pomiędzy zainicjowaniem pożaru a momentem, w którym tolerowane, graniczne kryteria bytowe, np. wydzielenia pożarowe ścian gwarantujące bezpieczeństwo na drogach ewakuacyjnych, są przekroczone w określonej przestrzeni w budynku;
- wymagany czas bezpiecznej ewakuacji – *WCBE* (Required Safety Egress Time – *RSET*), czyli obliczony czas pomiędzy zainicjowaniem pożaru a momentem, w którym użytkownicy w określonych przestrzeniach w budynku są w stanie osiągnąć bezpieczne miejsce, gdy warunki krytyczne na drogach ewakuacyjnych nie zostaną jeszcze przekroczone [3–5].

W celu wyznaczenia wymaganego czasu bezpiecznej ewakuacji posługujemy się następującym równaniem (1) [3–7]:

$$WCBE = \Delta t_{det} + \Delta t_a + \Delta t_{pre} + \Delta t_{przej} \quad (1)$$

gdzie:

WCBE – wymagany czas bezpiecznej ewakuacji, s;

Δt_{det} – czas detekcji, czas od zainicjowania pożaru do jego wykrycia przez system sygnalizacji pożarowej lub przez użytkowników budynku, s;

Δt_a – czas alarmowania, czas od momentu detekcji do ogłoszenia alarmu, s;

Δt_{pre} – czas wstępnych reakcji użytkowników obiektu, który składa się z czasu rozpoznania i reakcji, s;

Δt_{przej} – czas przejścia użytkowników budynku od wyjścia do bezpiecznego miejsca lub na zewnątrz budynku, s.

Jeśli *WCBE* jest krótszy od *DCBE* należy uznać, że kryterium bezpiecznej ewakuacji zostało spełnione. W praktyce przy ocenie *DCBE* bierze się głównie pod uwagę parametry zagrożenia, takie jak: zadymienie, wzrost temperatury oraz utratę parametrów ogniodporności ogniowej przez elementy budowlane. Istotną kwestią jest ustalenie granicznych wartości temperatury oraz parametrów dotyczących zadymienia.

W literaturze przedmiotu [8–10] jako graniczne parametry bezpiecznej ewakuacji określono wystąpienie na wysokości mniejszej od 1,8 m lub równej 1,8 m:

- temperatury 60°C,
- zadymienia ograniczającego widzialność krawędzi elementów budowlanych i drzwi poniżej 10 m.

Podczas obliczania czasu ewakuacji należy zwrócić uwagę na zachowanie się ludzi, na czynniki warunkujące ich pierw-

The required safe egress time

Polish legal regulations provide that rooms intended for people should provide options for evacuation to a safe place outside the building or in the neighbouring fire compartment zone, either directly or by using general transport routes [1]. The technical specifications [1] contain a detailed description of the parameters and requirements for escape routes, and ensuring safe evacuation from a building in the case of fire is the priority of firefighting actions [2]. Due to this, the construction process increasingly often includes an analysis of the following aspects:

- the Available Safe Egress Time (*ASET*), which is defined as the time measured between fire ignition and the moment at which the tolerated limit values for vital criteria, e.g. fire partitions of walls guaranteeing safety on escape routes are exceeded in a specific area inside the building;
- the Required Safe Egress Time (*RSET*), which is the time measured between fire ignition and the moment at which users in specific areas of the building are able to reach a safe place, when the critical conditions have not been exceeded yet along the escape routes [3–5].

The required safe egress time is calculated using the following formula (1) [3–7]:

$$WCBE = \Delta t_{det} + \Delta t_a + \Delta t_{pre} + \Delta t_{przej} \quad (1)$$

where:

WCBE (*RSET*) – Required Safe Egress Time, s;

Δt_{det} – detection time, time from fire ignition to detection by a fire alarm system or by occupants, s;

Δt_a – alarm time, time from detection to sounding the alarm, s;

Δt_{pre} – time from early responses of occupants, which consists of recognition and response time, s;

Δt_{przej} – the time during which occupants move from the exit to the safe place or outside the building, s.

If *RSET* is shorter than *ASET*, the criterion of safe evacuation should be considered fulfilled. In practice, when assessing *ASET*, the main parameters taken into account are those related to the present threats, such as smoke level, increased temperature and loss of fire-resistance parameters by construction elements. An important issue is to determine the threshold values of temperature and parameters connected with smoke levels.

In the literature [8–10] the threshold parameters of safe evacuation were defined as the occurrence at the height of 1.8 m or less of:

- a temperature of 60°C,
- smoke levels reducing the visibility of construction element edges and doors to less than 10 m.

In calculating evacuation time, attention should be paid to the behaviour of people, the factors determining their first reactions, as the studies described in the available literature on the subject have shown that this time can be an important element of *ASET* [11, 12]. During the recognition stage (the first stage of the initial reactions of occupants), occupants usually

sze reakcje, ponieważ badania opisane w dostępnej literaturze przedmiotu wykazały, że czas ten może być ważnym elementem *DCBE* [11–12]. W czasie trwania rozpoznania (pierwszej fazie czasu wstępnych reakcji użytkowników obiektu) użytkownicy budynku najczęściej kontynuują wcześniej rozpoczęte czynności. Czas rozpoznania zależy od typu budynku, natury użytkowników obiektu oraz systemu alarmowania i zarządzania budynkiem. W pewnych okolicznościach – np. gdy ludzie nie śpią, biorą udział w próbnych ewakuacjach, są zaznajomieni z systemem alarmowym – czas rozpoznania może wynosić tylko kilka sekund. Jednak gdy ludzie śpią, nie są zaznajomieni z systemem alarmowym lub nie mogą uzyskać pomocy od personelu, czas ten może wynosić nawet kilka minut [13–14]. Czas rozpoznania kończy się w momencie, w którym użytkownicy budynku uświadamiają sobie konieczność reakcji na alarm pożarowy. Wtedy rozpoczyna się czas reakcji, a więc czas, w którym ludzie reagują, ale jeszcze nie rozpoczynają ewakuacji. Może on wynosić od kilku sekund do kilku minut w zależności od okoliczności, w jakich znajdują się użytkownicy obiektu. W tym czasie użytkownicy budynku przerywają swoje normalne czynności i rozpoczynają działania zależne od rozwoju zagrożenia. Mogą to być: zachowania badawcze obejmujące czynności zmierzające do określenia źródła zagrożenia, szukanie dzieci i innych członków rodziny, wracanie się po pozostawione rzeczy, próby kradzieży, próby gaszenia pożaru, szukanie dróg wyjścia, alarmowanie innych o pożarze, wchodzenie w interakcje z osobami znajdującymi się w otoczeniu, czekanie na krewnych i znajomych, zbieranie swoich rzeczy itp. [15–21].

Obecnie badania nad niepewnością czasu pierwszych reakcji opierają się głównie na matematycznej analizie statystycznej, czyli cechy behawioralne ludzi są badane dzięki pomiarowi czasu wstępnych reakcji w celu ustalenia odpowiedniej funkcji rozkładu prawdopodobieństwa wstępnych reakcji podczas ewakuacji [13]. Zatem na czasy te wpływa bardzo wiele zmiennych, które są trudne do przewidzenia, w związku z czym dokładne określenie czasu trwania ewakuacji jest trudne.

Ewakuacja ludzi z budynków

Ewakuacja to przemieszczanie ludzi, zwierząt i dobytku z terenów zagrożonych wojną lub nawiedzonych klęską żywiołową, np. pożarem [22]. Zainteresowanie kwestią ewakuacji ludzi zaczęło się po serii spektakularnych pożarów. Przykładowe pożary przedstawiono w tabeli 1.

Tragiczne zdarzenia przyczyniają się do podejmowania badań mających określić, co wpływa na zachowanie się osób podczas pożaru i jak zapewnić tym osobom bezpieczne warunki ewakuacji. Szczególną uwagę zwraca się na potrzebę zapewnienia ludziom bezpieczeństwa w wymaganym czasie, a także na odpowiednie środki gwarantujące bezpieczną ewakuację wszystkich osób przebywających w budynku objętym pożarem [24].

continue the actions they were doing. Recognition time depends on the type of building, the nature of occupants and the building alarm and management system. In certain circumstances – for example when people are not asleep, they have taken part in evacuation drills and know the alarm system, the recognition time might last only a few seconds. However, when occupants are asleep and they do not know the alarm system or they are unable to ask the personnel for help, this might take several minutes [13–14]. The recognition time ends when the occupants become aware that they need to react to the fire alarm. Reaction time begins in which occupants react but still do not begin to evacuate. This might take from a few seconds to a few minutes depending on the circumstances of the occupants. During that time, the occupants interrupt their normal activities and take action depending on the type of threat. These could be investigative behaviour involving activities aimed at finding the source of the threat, looking for children and other family members, returning for things left behind, attempts at theft, extinguishing the fire, looking for an exit, alarming others about the fire, interacting with persons located in the vicinity, waiting for relatives and friends, gathering one's belongings, etc. [15–21].

Currently, studies on the uncertainty of the time of first reaction are mainly based on mathematical statistical analysis, i.e. the behavioural traits of people are studied by measuring the time of initial response to determine the specific function of the probability distribution of the initial reactions during evacuation [13]. This means that these times are determined by a very large number of variables, which are hard to predict, which is why it is difficult to precisely determine the evacuation time.

Evacuation of people from buildings

Evacuation is the movement of people, animals and belongings from areas endangered by war or struck by a disaster or fire [22]. Interest in the issue of emergency evacuation began after a series of spectacular fires. The standard is presented in Table 1.

When tragic events occur, they contribute to initiating studies aimed at determining what influences the behaviour of people in a fire and how safe evacuation conditions can be provided. Particular attention is paid to the need to ensure safety in a required time and to the appropriate measures guaranteeing the safe egress of all occupants of the building under fire [24].

Tabela 1. Wybrane pożary wraz z liczbą ofiar i rannych [23]

Table 1. Selected fires along with the number of victims and injured people [23]

Rok zdarzenia/ Year of the event	Miejsce zdarzenia/Location	Ofiary, ranni/Killed, injured
1903	teatr Iroquois w Chicago, USA/Iroquois Theatre in Chicago, USA	zginęły 602 osoby/602 people died
1927	kino Laurier Palace w Montrealu, Kanada/Laurier Palace cinema in Montreal, Canada	zginęło 78 dzieci, z których tylko jedno spłonęło, a pozostałe zmarły w wyniku zacczadzenia (52) i stratowania (25); rannych zostało 30 dzieci/78 children died, of which only one was burned and the others died of carbon monoxide poisoning – (52) or were trampled to death (25); 30 children were injured.
1928	teatr Novedades w Madrycie, Hiszpania/Novedades Theatre in Madrid, Spain	zginęło 110 osób, a ok. 350 zostało rannych/110 people died and about 350 were injured
1930	więzienie w Columbus, USA/prison in Columbus, USA	zginęły 322 osoby/322 people died
1942	klub nocny Coconut Grove w Bostonie, USA/Coconut Grove nightclub in Boston, USA	zginęły 492 osoby, a rannych zostało kilka tysięcy osób/492 people died and several thousand people were injured
1955	światlica w Wielopolu Skrzyńskim, Polska/a common room in Wielopole Skrzyńskie, Poland	zginęło 58 (wg niektórych źródeł – 56) osób, w tym 38 dzieci; rany odniosło 20 osób/58 people died (according to some sources – 56), including 38 children, 20 people were injured
1958	kopalnia Makoszowy w Zabrze, Polska/"Makoszowy" mine in Zabrze, Poland	zginęły 52 osoby/52 people died
1974	klub nocy w Port Chester, USA/night club in Port Chester, USA	zginęły 24 osoby/24 people died
1977	klub nocy w Southgate, USA/night club in Southgate, USA	zginęły 164 osoby/164 people died
1980	szpital psychiatryczny w Górnej Grupie, Polska/psychiatric hospital in Górna Grupa, Poland	zginęło 55 pacjentów, a 26 zostało rannych/55 patients died and 26 were injured
1985	stadion w Bradford, Wielka Brytania/stadium in Bradford, United Kingdom	zginęło 56 osób, a 300 zostało rannych/56 people died and 300 were injured
1994	hala widowiskowa Stoczni Gdańskiej, Polska/entertainment arena of the Gdańsk Shipyard, Poland	zginęło 7 osób/7 people died
1998	dyskoteka w Goeteborgu, Szwecja/disco in Gothenburg, Sweden	zginęło 60 osób, a 173 zostały ranne/60 people died and 173 were injured
2009	klub nocny Santika w Bangkoku, Tajlandia/night club "Santika" in Bangkok, Thailand	zginęło 66 osób, a 207 zostało rannych/66 people died and 207 were injured
2009	hotel socjalny w Kamieniu Pomorskim, Polska/social hotel in Kamień Pomorski, Poland	zginęły 23 osoby/23 people died
2009	żłobek w Hermosillo, Meksyk/nursery in Hermosillo, Mexico	zginęło 47 dzieci/47 children died
2011	kamienica w Świętochłowicach, Polska/tenement house in Świętochłowice, Poland	zginęło 5 osób/5 people died
2016	dom w Ryczycy, Polska/house in Ryczycy, Poland	zginęło 5 osób/5 people died
2017	wieżowiec Grenfell Tower w Londynie, Wielka Brytania/Grenfell Tower skyscraper in London, United Kingdom	zginęło 71 osób, a ranne zostały 74 osoby/71 people died and 74 people were injured

Na podstawie dostępnej literatury przedmiotu można przyjąć, że najczęściej spotykanymi zachowaniami ludzi w czasie ewakuacji są:

- przyspieszenie kroku, zwiększenie prędkości poruszania się;
- odpychanie się, potrącanie innych, wpadanie na siebie, wzajemne oddziaływanie;
- poruszanie się w sposób chaotyczny;
- wracanie się po zapomniane rzeczy, szukanie dzieci;
- czekanie na znajomych w celu ewakuowania się razem z nimi;
- tworzenie zatorów, zwłaszcza na zwężeniach poziomych dróg ewakuacyjnych przy drzwiach;
- spowalnianie ruchu przez osoby poszkodowane i potykające się lub na skutek pojawiających się przeszkód;
- ślepe podążanie za innymi, ignorowanie alternatywnych wyjść;
- wyprzedzanie wolniejszych uczestników ruchu [24, 25].

W przypadku ewakuacji z budynku objętego pożarem możemy spodziewać się wszystkich wyżej wymienionych zachowań. Wszystkie one negatywnie wpływają na przebieg ewakuacji. Znajomość zależności występujących pomiędzy

On the basis of the available literature it can be assumed that the most frequent behavioural patterns of people during evacuation are:

- walking faster, increasing movement speed;
- pushing others, bumping into each other, mutual interactions;
- chaotic movement;
- going back for forgotten belongings, looking for children;
- waiting for colleagues to evacuate jointly with them;
- congestion, especially in narrow passages of horizontal evacuation routes near doors;
- slowing down by people with injuries or stumbling on the obstacles;
- blindly following others, ignoring alternative exits;
- overtaking slower evacuees [24, 25].

In the case of an evacuation from a building under fire, we can expect all of the above behavioural patterns. They all have a negative effect on the progress of the evacuation. Knowing the interrelations between people making up the crowd is essential when building a safety system and developing evacuation procedures [24].

ludźmi tworzącymi tłum jest niezbędna podczas budowania systemu bezpieczeństwa i opracowywania procedur ewakuacyjnych [24].

Prędkości przemieszczania się ludzi

W literaturze przedmiotu określono, że prędkość przemieszczania się ludzi zależy od: ich zagęszczenia na danym obszarze; sposobu przemieszczania się; warunków panujących na drogach ewakuacyjnych; typu miejsca, z którego należy się ewakuować; charakterystyki osób ewakuujących się [26] (ich płci, gabarytów ciała [27] i kondycji fizycznej [28]). To potwierdza stochastyczny charakter procesu ewakuacji. Dodatkowo trzeba brać pod uwagę to, że w większości obiektów ich użytkownicy się zmieniają, a nawet gdy są nimi te same osoby, nie gwarantuje to powtarzalności przebiegu ewakuacji, co potwierdził eksperyment opisany w dalszej części artykułu.

Przy niezakłóconym ruchu pieszych po poziomych drogach ewakuacyjnych zwykle przyjmuje się średnią prędkość przemieszczania poniżej 1,4 m/s, najczęściej 1,2 m/s [29–31]. Prędkość ta jest określona jako stosunek długości przebytej drogi ewakuacyjnej przez osobę do czasu ewakuacji [32, 33]. W literaturze zostały wskazane także inne wartości prędkości, np.:

- 1,25 m/s według Paulsa – w budynkach biurowych,
- 1,19 m/s według Nelsona i Mowrera,
- 1,7 m/s dla mężczyzn i 0,8 m/s dla kobiet według Thompsona i Marchanta [3, 6].

Natomiast jeśli chodzi o prędkość poruszania się po drogach pionowych, to według Ando [3] niezakłócona prędkość poruszania się po schodach w dół wynosi 0,8 m/s, a po schodach w górę – 0,7 m/s. Zakres prędkości poruszania się po schodach przedstawiany przez Fruina [3] jest uzależniony od wieku i płci. W przypadku poruszania się po schodach w dół prędkość wynosi od 1,01 m/s dla mężczyzn w wieku poniżej 30 lat do 0,595 m/s dla kobiet w wieku powyżej 50 lat. W przypadku poruszania się po schodach w górę zakres ten wynosi odpowiednio od 0,67 m/s do 0,485 m/s. Określono, że zgodnie ze wskazaniem Fruina najlepiej przyjmować zakres prędkości od 0,36 do 0,76 m/s [34]. Nelson i Mowrer [3] określili, że prędkość poruszania się po schodach wynosi od 0,85 do 1,05 m/s, a co ważniejsze – w ich ocenie nie jest ona zależna od kierunku poruszania się.

Na początku XXI wieku zaczęto szczegółowo analizować wpływ ruchu ludzi po schodach na czas ewakuacji. Zaobserwowano, że wchodzenie jest wolniejsze od schodzenia [35, 36]. Zwrócono uwagę, że są dwa istotne elementy wpływające na prędkość pieszego na schodach: jego charakterystyka oraz cechy schodów. Charakterystyka schodów zależy od: stopnia ich nachylenia, widoczności, wymiarów (w tym szerokości, wysokości oraz głębokości), rodzaju, obecności i położenia poręczy, zagęszczenia ludzi na schodach [36, 37]. Badacze sugerowali, że szersze schody umożliwiają pieszym szybsze zejście lub przejście obok siebie, natomiast wąskie schody mogą prowadzić do powstawania zatorów [36, 38]. Ponadto badacze wykazali, że istnieje wyraźny związek pomiędzy prędkością przemieszczania się i zagęszczeniem osób ewakuujących się. Analizy pokazały, że prędkość zmniejsza się

Speed of movement

According to the literature, the factors that impact on the movement speed of people are: their density in a given area; the method of movement; the conditions along the escape routes; the type of place from which the evacuation is carried out; the characteristics of evacuees [26] (their gender, body size [27] and fitness [28]). This confirms the stochastic nature of the evacuation process. In addition, it should be taken into account that the occupants of most buildings change, and even if they are the same people, this does not guarantee the reproducibility of evacuation, as confirmed by the experiment described in the further part of the article.

With unhindered movement of pedestrians along horizontal escape routes, the average movement speed is usually assumed to be below 1.4 m/s, most often 1.2 m/s [29–31]. This speed is defined as the ratio between the length of the escape route covered by the person until evacuation [32, 33]. Various authors also indicate other walking speed values, such as:

- 1.25 m/s according to Pauls – in office buildings,
- 1.19 m/s according to Nelson and Mowrer,
- 1.7 m/s for men and 0.8 m/s for women according to Thompson and Marchant [3, 6].

In the case of the movement speed along vertical routes, according to Ando [3] the unhindered movement speed down the stairs is 0.8 m/s and up the stairs – 0.7 m/s. The range of movement speeds on the stairs presented by Fruin [3] depends on age and gender. For downward movement, the speed ranges from 1.01 m/s for men under 30 years of age to 0.595 m/s for women over 50. In the case of upward movement, this range is from 0.67 m/s to 0.485 m/s, respectively. It was determined that, in accordance with the observations made by Fruin, it is best to assume the speed range of 0.36 to 0.76 m/s [34]. Nelson and Mowrer [3] found that movement speed on the stairs is from 0.85 to 1.05 m/s, and, more importantly, it does not depend on the direction of movement.

Early into the 21st century, the impact of the movement of people on the stairs on evacuation time began to be analysed in more detail. It was observed that ascending is slower than descending the stairs [35, 36]. It was found that there were two important elements affecting the movement speed of a pedestrian on the stairs: the nature of the person and the features of the stairs. The features of the stairs include: slope, visibility, dimensions (width, height and depth), type, the presence and location of railings, and crowd density [36, 37]. It was suggested that wider stairs facilitate quicker descent or passing in opposite directions, while narrow stairs may lead to congestion [36, 38]. Furthermore, it was demonstrated that there was a clear connection between movement speed and density of evacuees. A number of analyses have shown that speed decreases as density increases [36, 39, 40]. The behaviour of people on

wraz ze wzrostem tego zagęszczenia [36, 39, 40]. Na zachowanie się ludzi na klatkach schodowych wpływa wiele czynników, np. płeć, wiek i zdolności fizyczne tych osób oraz nachylenie schodów. Ponadto określono, że prędkość wchodzenia lub schodzenia po schodach zależy do odległości przebytej przez pieszego (im wyżej ktoś wszedł, tym wolniej się porusza) [38, 41]. Stwierdzono dodatkowo, że zdolność do intensywnego wysiłku fizycznego zmniejsza się stopniowo wraz z wiekiem – osoby starsze poruszają się na schodach z mniejszą prędkością niż ludzie młodzi [36]. Co ważne, określono, że średnia prędkość ewakuacji jest zawsze mniejsza od normalnej prędkości przemieszczania, co jest spowodowane ograniczeniami wyjścia i przejścia [42].

Dla porównania w tabeli 2 i 3 przedstawiono prędkości przemieszczania się użytkowników budynków podane w dostępnej literaturze przedmiotu. Prędkości te są zależne od wielu czynników, takich jak: typ chodzenia, warunki na drogach ewakuacyjnych, typ użytkowników, rodzaj miejsca, sposób dokonywania pomiaru.

staircases is affected by a number of factors, e.g. the gender, age and physical fitness of people and the slope of the stairs. Moreover, it was determined that the speed of ascent or descent depends on the distance already covered by the person (the longer the ascent, the slower the movement) [38, 41]. It was also found that the ability to sustain heavy physical exertion is reduced gradually with age – older people are slower on the stairs than young people [36]. Importantly, it was determined that the average movement speed during evacuation is always smaller than the movement speed in normal conditions, which is caused by restricted entry and passage [42].

For comparison, Tables 2 and 3 present the movement rates of occupants of buildings provided in the available literature on the subject. The speeds depend on numerous factors, such as gait, conditions along escape routes, occupant type, area type, measurement method.

Tabela 2. Wartości prędkości przemieszczania się użytkowników budynków [15, 43–51]

Table 2. Movement rates of occupants [15, 43–51]

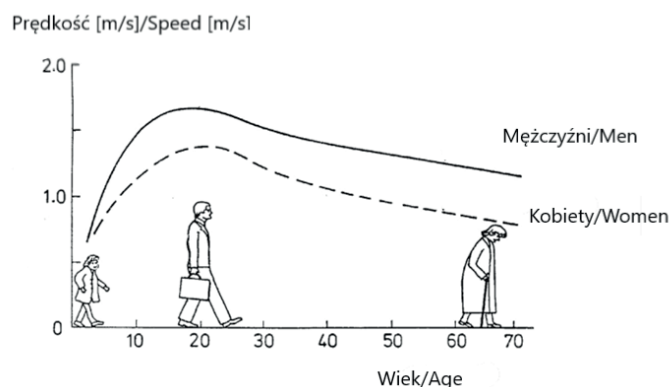
Rodzaj użytkowników/Occupant type		Prędkość/Speed [m/s]	
– dziecko/child		0,4–1,08	
– kobieta w podeszłym wieku/elderly woman		1,04	
– mężczyzna w podeszłym wieku/elderly man		1,05	
– starsi/elderly		1,04	
– dorosła kobieta/adult woman		1,24	
– dorosły mężczyzna/adult man		1,3	
– dorośli/adults		1,27	
Rodzaj ruchu/Traffic type		Prędkość/Speed [m/s]	
– normalny/normal		1,2–1,8	
– wyjścia/egress		0,8–1,5	
Warunki przemieszczania się po korytarzu/Conditions for moving around the corridor		Prędkość/Speed [m/s]	
– niezatłoczonym/unobstructed		1,4	
– optymalnie zatłoczonym/optimally crowded		0,7	
– umiarkowanie zatłoczonym/moderately crowded		0,39	
– zatłoczonym/ crowded		0,1	
Rodzaj budynku/Type of building		Prędkość/Speed [m/s]	
– użyteczności publicznej/public building		0,51–1,27	
– wieżowiec/high-rise		0,57–1,20	
– apartament/apartment building		0,52–1,12	
Po schodach o wymiarach (wysokość, szerokość)/Stairs with dimensions (height, width)		Prędkość/Speed [m/s]	
0,20; 0,25 m		0,85	
0,18; 0,25 m		0,95	
0,17; 0,30 m		1,00	
0,17; 0,33 m		1,05	
Po schodach o stopniu nachylenia/Stairs with the following slopes		Prędkość/Speed [m/s]	
20°		0,9	
25°		0,8	
30°		0,7	
35°		0,6	
40°		0,5	
45°		0,4	
Rodzaj użytkowników/Type of occupant:		Prędkość/Speed [m/s]	
		po schodach/ascent ↑	ze schodów/descent ↓
Mężczyźni/Men	Wiek/Age		
	<30	0,67	1,01
	30–50	0,63	0,86
	>50	0,51	0,67
Kobiety/Women	<30	0,635	0,755
	30–50	0,59	0,655
	>50	0,485	0,595
– dziecko/child		0,29	0,31
– kobieta w podeszłym wieku/elderly woman		0,27	0,26
– mężczyzna w podeszłym wieku/elderly man		0,29	0,29
– starsi/elderly		0,28	0,28
– dorosła kobieta/ adult woman		0,3	0,36
– dorosły mężczyzna/ adult man		0,32	0,42
– dorośli/adults		0,31	0,38

Tabela 3. Wartości prędkości przemieszczających się ludzi w zależności od ich wieku oraz rodzaju drogi ewakuacyjnej [52]**Table 3.** Speed values of moving people depending on their age and type of escape route [52]

Rodzaj drogi ewakuacyjnej/Type of escape route	Przedział wiekowy/ Age range	Prędkość/Speed [m/s]
Poziome drogi ewakuacyjne/Horizontal escape routes	18–29	1,2–1,6
Pionowe drogi ewakuacyjne, w górę/Vertical escape routes, up	18–29	0,216–0,6
Pionowe drogi ewakuacyjne, w dół/Vertical escape routes, down	18–29	0,78–1,3
Poziome drogi ewakuacyjne/Horizontal escape routes	30–50	1,2–1,5
Pionowe drogi ewakuacyjne, w górę/Vertical escape routes, up	30–50	0,18–0,5
Pionowe drogi ewakuacyjne, w dół/Vertical escape routes, down	30–50	0,6–0,97
Poziome drogi ewakuacyjne/Horizontal escape routes	>50	0,91–1,25
Pionowe drogi ewakuacyjne, w górę/Vertical escape routes, up	>50	0,144–0,4
Pionowe drogi ewakuacyjne, w dół/Vertical escape routes, down	>50	0,39–0,93

Na ryc. 1 przedstawiono zależność prędkości przemieszczania się ludzi od ich wieku i płci. Z danych wynika, że osoby mające 18–29 lat poruszają się najszybciej, przy czym wraz z wiekiem zdolność szybkiego przemieszczania się maleje [53, 54]. Przedstawiona zależność mieści się w przedziałach prędkości wskazanych w tabeli 2 i 3.

Fig. 1 presents the dependence of the movement rate of people on their age and gender. The data show that people between 18 and 29 years of age move faster, and the ability to move quickly decreases with age [53, 54]. The presented dependence is within the speed range provided in Tables 2 and 3.

**Rycina 1.** Zmiana prędkości przemieszczania się osób w zależności od ich wieku [53]**Figure 1.** Changes in the movement speed of people depending on their age [53]

Podczas analizy warunków ewakuacji zdefiniowano zależność, zgodnie z którą na prędkość przemieszczania się ewakuujących się ludzi wpływa ich zagęszczenie, co zestawiono w tabeli 4.

In analysing the evacuation conditions, it was found that the movement speed of evacuees is affected by their density, as shown in Table 4.

Tabela 4. Parametry prędkości przemieszczania się i zagęszczenia ludzi otrzymane przez różnych badaczy [55]**Table 4.** Parameters of movement speeds and densities of evacuees obtained by different researchers [55]

Badacz/ Researcher	Prędkość/Speed [m/s]	Zagęszczenie [osoby/m ²]/Density [people/m ²]
Fruin (1971)	1,3	6,6
Hankin i/and Wright (1958)	1,61	6,46
Johansson i inni/et al. (2008)	0,6	10,79
Möri and Tsukaguchi (1987)	1,4	9,00
Polus (1983)	1,25	7,18
Seyfried (2005)	1,34	5,55

W literaturze przedmiotu jedne źródła podają, że gdy zadymienie jest małe – widzialność 10–12 m – ludzie poruszają się z prędkością 0,8–0,9 m/s, a gdy zadymienie jest duże

In the literature on the subject, some sources suggest that when the smoke level is low, with the visibility of 10–12 m, people move at the speed of 0.8–0.9 m/s, and when the smoke level

– widzialność 3–5 m – z prędkością 0,6–0,8 m/s [56, 57]. Inne źródła podają, że przy widzialności 5–10 m prędkość przemieszczania się po poziomych drogach ewakuacyjnych wynosi 0,96 m/s, a po schodach – 0,62 m/s. Przy widzialności 3–7 m prędkości te wynoszą odpowiednio 0,64 m/s oraz 0,53 m/s [26].

Reasumując, trzeba zauważyć, że podczas wyznaczania całkowitego czasu ewakuacji konieczne jest uwzględnienie czasu zwłoki jej rozpoczęcia, ponieważ stanowi on znaczny procent całkowitego czasu i może mieć znaczący wpływ na jego długość, zwłaszcza w obiektach, w których brak jest urządzeń przeciwpożarowych alarmujących o powstaniu pożaru. Natomiast w budynkach, w których poziom zarządzania bezpieczeństwem pożarowym jest wysoki (znajdują się urządzenia rozgłaszające alarm pożary skracające czas zwłoki), wymagany czas ewakuacji w znacznej mierze zależy będzie od czasu przejścia ludzi do miejsca bezpiecznego.

Badanie czasu ewakuacji ludzi z budynku KP PSP w Pabianicach

Charakterystyka pożarowa obiektu

Obiekt będący przedmiotem badań to budynek użyteczności publicznej, niepodpiwniczony, mający dwie kondygnacje nadziemne. Zgodnie z warunkami technicznymi [1] obiekt zalicza się do grupy budynków niskich.

Budynek przedstawiony na ryc. 2 znajduje się przy ul. Kilińskiego 4 w Pabianicach. Mieści się w nim KP PSP w Pabianicach oraz jednostka ratowniczo-gaśnicza.



Rycina 2. Widok frontu budynku KP PSP w Pabianicach

Figure 2. View of the front of the fire brigade building in Pabianice

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Budynek ma konstrukcję żelbetowo-murowaną. Główne elementy konstrukcyjne obiektu spełniają wymagania dla klasy „D” odporności pożarowej. W budynku znajdują się dwie klatki schodowe, w których szerokość biegów schodów wynosi 1,2 m, a szerokość spoczników – 1,5 m. Największy wpływ na przebieg ewakuacji ma zainstalowany w obiekcie system powiadamiania o pożarze.

Metodyka badania przebiegu ewakuacji ludzi

Zgodnie z przyjętą metodyką badań ewakuację rozpoczęto po jej ogłoszeniu przez radiowęzeł. Do rejestracji przebiegu

is high, with the visibility of 3–5 m, at the speed of 0.6–0.8 m/s [56, 57]. Other sources indicate that at the visibility of 5–10 m, the movement speed along horizontal escape routes is 0.96 m/s and on the stairs – 0.62 m/s. With the visibility of 3–7 m, these speeds are 0.64 m/s and 0.53 m/s, respectively [26].

In conclusion, it should be pointed out that in determining the total evacuation time, it is necessary to take into account the time of delay before it is initiated, as it covers a considerable percentage of the total time and might significantly affect its length, especially in buildings, where there are no fire alarms in place. As for buildings with a high level of fire safety management (equipped with fire alarms, which reduce the time of delay), the required evacuation time largely depends on the time of passage of people to a safe place.

Evacuation time studies at the KP PSP building in Pabianice

The building’s fire specifications

The examined structure is a two-storeyed public utility building without a basement. In accordance with the technical conditions [1], the building is classified as a low building.

The building presented in Fig. 2 is located at ul. Kilińskiego 4 in Pabianice. It houses the District Headquarters of the State Fire Service (KP PSP) in Pabianice and a firefighting and rescue unit.

The building structure is made of reinforced concrete and brick. Its main structural elements fulfil the requirements of fire resistance class “D”. The building features two staircases with the flight width of 1.2 m and landing width of 1.5 m. The progress of evacuation is largely determined by the fire notification system installed in the building.

The study methodology of evacuation

In accordance with the adopted study methodology, evacuation began right after it was announced via the public address

eksperymentu użyto czterech kamer wideo Canon LEGRIA HF M406. Zgodnie z ryc. 3 i 4 punkty obserwacyjne umieszczone były:

- na parterze, dzięki czemu możliwa była rejestracja ruchu po pionowej i poziomej drodze ewakuacyjnej;
- na piętrze: w pomieszczeniu, z którego ewakuowali się strażacy, oraz na korytarzu, dzięki czemu możliwa była rejestracja przemieszczających się osób po poziomej i pionowej drodze ewakuacyjnej.

system. Four Canon LEGRIA HF M406 video cameras were used to record the experiment. In accordance with Figs. 3 and 4, the observation points were located:

- on the ground floor, allowing the recording of movement along the vertical and horizontal escape routes;
- on the first floor: in the room, from which firefighters evacuated and in the corridor, which allowed the recording of movement along the vertical and horizontal escape routes.



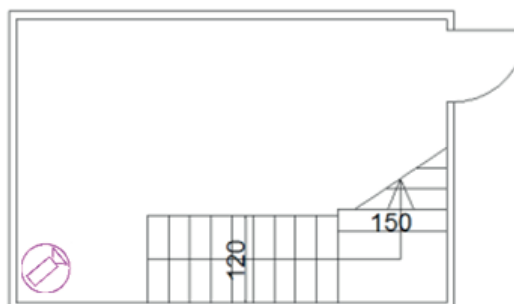
- miejsce lokalizacji kamer wideo/location of video cameras

Rycina 3. Lokalizacja kamer wideo na piętrze: w pomieszczeniu oraz na korytarzu

Figure 3. Location of video cameras on first floor: in the room and in the corridor

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



- miejsce lokalizacji kamery wideo/location of the video camera

Rycina 4. Lokalizacja kamery wideo na parterze jednostki ratowniczo-gaśniczej

Figure 4. Location of the video camera on the ground floor level of the Firefighting and Rescue Unit

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Kamery obsługiwane były przez osoby wyznaczone do pomocy przy rejestracji przebiegu eksperymentów i znajdowały się na wysokości umożliwiającej swobodną ich obsługę przez operatora, czyli na wysokości klatki piersiowej.

Dane z przebiegu ewakuacji

Skromnym wkładem do zbadania powtarzalności wyników badań dotyczących czasu ewakuacji z budynku jest wykonanie kilku ewakuacji dla tego samego obiektu i tych samych osób biorących udział w ewakuacji. Autorzy zdają sobie sprawę z tego, że wykonane pomiary są jedynie wstępem do dyskusji na temat powtarzalności przebiegu ewakuacji. Kompleksowe podejście do tego zagadnienia wymagałoby przeprowadzenia

The video cameras were operated by individuals assigned to help record the course of the experiments and were located at a height allowing their free operation, i.e. at chest height.

Evacuation data

A small contribution to the analysis of the reproducibility of results of studies on the evacuation time from buildings can be made by carrying out several evacuations for the same building and for the same occupants. The authors are aware that the performed measurements only serve as an introduction to the discussion on the reproducibility of evacuation. A thorough approach to this subject would require carrying out a large number

bardzo wielu ewakuacji dla różnych obiektów, o identycznych, a także różnych składach osobowych ewakuowanych. Należy wspomnieć, że w dostępnej literaturze przedmiotu nie znaleziono opublikowanych danych doświadczalnych na temat powtarzalność otrzymanych czasów ewakuacji, czyli uzyskanych po przeprowadzeniu kilku eksperymentów z tą samą grupą ludzi w tych samych warunkach.

Eksperyment dotyczący powtarzalności ewakuacji przeprowadzono wśród strażaków jednej ze zmian w jednostce ratowniczo-gaśniczej przy KP PSP w Pabianicach. Badanie zakładało, że ewakuacja z pomieszczenia, w którym znajdowało się dziesięć osób, rozpocznie się po usłyszeniu przez nie komunikatu głosowego „Uwaga, ogłaszam ewakuację” nadawanego z głośnika radiowęzła. Po tych słowach strażacy wychodzili z zamkniętego pokoju, co ilustruje ryc. 5.

of evacuations for a variety of buildings with identical, and also different, compositions of occupants. It should be mentioned that no published experimental data have been found in the available literature on the subject relating to the reproducibility of the observed evacuation times, i.e. data obtained after several experiments with the same group of people under the same conditions.

The experiment concerning the reproducibility of evacuation was carried out among the firefighters on one shift at the firefighting and rescue unit of KP PSP in Pabianice. The study assumed that evacuation from a room with ten occupants begins after the voice message “Attention, please evacuate” is heard from the public address system. After hearing the message, the firefighters started leaving the room, as illustrated in Fig. 5.



Rycina 5. Strażacy wychodzący z pomieszczenia

Figure 5. View of firefighters leaving the room

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Kolejnym etapem ewakuacji było przejście korytarzem o długości 16 m, co przedstawiono na ryc. 6.

The next stage of evacuation was to traverse a 16 m long corridor, as shown in Fig. 6.



Rycina 6. Ruch na poziomej drodze ewakuacyjnej

Figure 6. Movement on a horizontal escape route

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Po pokonaniu korytarza strażacy schodzili pionową drogą ewakuacyjną, czyli klatką schodową, w której szerokość biegów schodów wynosiła 1,2 m, a szerokość spoczników – 1,5 m, zgodnie z ryc. 7.

After traversing the corridor, firefighters descended a vertical escape route, i.e. a staircase, with the flight width of 1.2 m and landing width of 1.5 m, as shown in Fig. 7.



Rycina 7. Zejście po schodach oraz wyjście na zewnątrz budynku

Figure 7. Going down the stairs and going outside the building

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Po zejściu po schodach strażacy fragmentem poziomej drogi ewakuacyjnej udali się na zewnątrz budynku. W momencie, w którym ostatni uczestnik badań przeszedł przez zewnętrzne drzwi ewakuacyjne, kończono pomiar czasu ewakuacji. Wykonano trzy próby eksperymentu w odstępach 20-minutowych. Za każdym razem strażacy mieli przemieszczać się z „normalną” prędkością.

Po przeanalizowaniu zapisu z kamer wideo stwierdzono, że całkowity czas ewakuacji wszystkich strażaków z budynku podczas pierwszego eksperymentu wynosił 39,1 s, podczas drugiego – 37,3 s, a podczas trzeciego – 41,5 s. Różnica w otrzymanych czasach między najkrótszym i najdłuższym czasem ewakuacji wyniosła 10,1%. W ewakuacji brało udział 10 osób.

Analiza zapisu przebiegu ewakuacji pozwoliła określić następujące zachowania przemieszczających się ludzi:

1. W trakcie ewakuacji nie występował czas zwłoki; ewakuacja następowała natychmiastowo po ogłoszeniu komunikatu.
2. Przed drzwiami stanowiącymi wyjście z pomieszczenia powstało zagęszczenie powodujące wydłużenie czasu ewakuacji zależne od przepustowości drzwi, co ilustruje ryc. 5.
3. Strażacy przemieszczali się ruchem uporządkowanym, jeden za drugim, co ilustrują ryc. 6 i 7.
4. Zgodnie z ryc. 7 strażacy, schodząc po schodach, trzymali się poręczy.

After descending the stairs, the firefighters used a fragment of the horizontal escape route to leave the building. As soon as the last study participant passed the external escape door, the evacuation time measurement was stopped. The experiment was repeated three times with 20-minute intervals. Each time the firefighters were instructed to walk at a “normal” pace.

After analysing the video camera recordings it was found that the total evacuation time of all firefighters from the building during the first experiment was 39.1 s, during the second – 37.3 s, during the third – 41.5 s. The difference in the obtained times between the shortest and the longest evacuation time was 10.1%. 10 people participated in the evacuation.

An analysis of the recording of the evacuation process allowed to determine the following behaviour of evacuees:

1. During evacuation there was no delay time; the evacuation started immediately after the message was announced.
2. A congestion formed in front of the exit door from the room, which extended the evacuation time depending on the crowd flow capacity of the door, which is illustrated in Fig. 5.
3. Firefighters moved in an orderly fashion, one after another, which is illustrated in Figs. 6 and 7.
4. As shown in Fig. 7, the firefighters held the handrail when descending the stairs.

Wykonany eksperyment potwierdza, że przeprowadzenie ewakuacji tego samego dnia z tymi samymi użytkownikami budynku nie gwarantuje stuprocentowej powtarzalności otrzymanych czasów ewakuacji. Eksperyment potwierdza również, że na czas ewakuacji wpływa zachowanie ludzkie, które jest trudne do przewidzenia i powtórzenia w kolejnej, identycznej ewakuacji, co oznacza, że ten aspekt również należy brać pod uwagę.

Komputerowy model symulacji ewakuacji wykonany w programie Pathfinder

W celu porównania rzeczywistych i symulacyjnych czasów ewakuacji z budynku wykorzystano program Pathfinder [58, 59]. Pathfinder jest specjalnym typem symulatora, w którym każdy zdefiniowany użytkownik ma szereg indywidualnych cech mogących wpływać na jego ruchy i decyzje podczas symulacji niezależnie od innych osób. Każdej osobie mogą być przypisane jego indywidualne cechy, takie jak: rozmiar, wygląd, prędkość przemieszczania się, opóźnienie w podejmowaniu decyzji o ucieczce. Pathfinder używa algorytmów z zakresu sztucznej inteligencji, gdyż każda osoba opisana w systemie ma swoje cele, poglądy oraz cechy osobowościowe [60]. Takie podejście do problemu pozwala zaobserwować, jak w danym środowisku grupy ludzi organizują się do ewakuacji. Również dzięki temu na podglądzie możemy zobaczyć jako rezultaty płynny i realistyczny przepływ ludzi na drodze ewakuacji. W programie Pathfinder ludzie są przedstawiani wizualnie jako osoby w przestrzeni 3D. Tak prowadzone obliczenia pozwalają na lepszą reprezentację drogi ewakuacji. Osoba, która przemieszcza się podczas ewakuacji, za każdym razem bierze wirtualnie pod uwagę całe otaczające ją środowisko.

Technika poruszania się użyta w programie Pathfinder (zmiennie-sterująca) jest wariantem w oryginalnej technice sterowania, która pozwala modelom uciekających ludzi wybierać takie cząstkowe kierunki poruszania się, aby ich indywidualny czas ewakuacji był jak najkrótszy. W każdym kolejnym kroku czasowym każdy ewakuujący się użytkownik budynku wybiera najkorzystniejszą dla siebie drogę ucieczki. Aktualizacja modelu zmiennie-sterującego następuje po 0,1 s. Uwzględnia on możliwość kolizji i bezwładność. Pathfinder zawiera również alternatywny model poruszania się tłumu bazujący na równaniach opisanych w literaturze przedmiotu [61]. W tym trybie pracy Pathfinder odtwarza w pierwszej kolejności ręczne obliczenia, używając do tego założeń i wytycznych SFPE Handbook (*Society of Fire Protection Engineers Handbook*) [61]. To pozwala na szybkie określenie czasu ewakuacji dla modelu budynku, a nawet dla modelu dużego kompleksu budynków. W programie domyślne ustawienie generuje postać ludzką o szerokości ramion 0,4558 m, która porusza się z prędkością 1,19 m/s.

Podczas wykonywania symulacji komputerowych zastosowano domyślne ustawienia programu przypisane poszczególnym użytkownikom obiektu i wykonano symulacje dla dwóch przypadków zachowań ludzi: dla modelu SFPE, co przedstawiono na ryc. 8–11, oraz dla modelu zmiennie-sterującego.

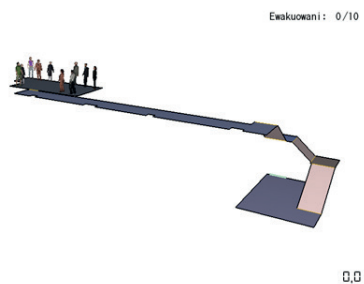
The performed experiment proves that conducting the evacuation on the same day with the same users does not guarantee full reproducibility of the obtained evacuation times. This experiment also confirms that evacuation time is affected by human behaviour, which is difficult to predict and reproduce in another identical evacuation procedure, so this aspect should also be taken into account.

A computer model of simulated evacuation prepared using Pathfinder software

The computer programme Pathfinder was used to compare the actual and simulated evacuation times from the building [58, 59]. Pathfinder is a special-purpose simulator which allows setting a number of individual features of each defined user, that might affect movement and decisions during the simulation, regardless of other people. Each person can have individual features such as size, appearance, movement speed, decision delay. Pathfinder uses artificial intelligence algorithms and every person described in the system has its goals, views and personality traits [60]. This approach to the problem allows observing how in a given environment groups of people organise their evacuation. The software also provides visual information showing the flow of people along the escape route in a smooth and realistic way. Pathfinder presents people visually in 3D space. Such calculations facilitate better representation of the escape route. Each person moving along the escape route takes into account the whole environment at every point on the way.

The movement technique used in Pathfinder software (reactive steering mode) is a variant of the original steering mode, which allows the models of evacuees to choose partial directions of movement to make their individual evacuation time as short as possible. At every successive time step, each evacuating occupant model selects the route of escape which is the most advantageous for itself. The reactive steering mode is updated after 0.1 s. It supports collisions and inertia. Pathfinder also features an alternative crowd behaviour mode based on the equations described in the literature [61]. In this mode, Pathfinder first recreates manual calculations using the assumptions and guidelines of the SFPE Handbook (*Society of Fire Protection Engineers Handbook*) [61]. This facilitates quickly determining evacuation time for the model of a building and even for the model of a large complex of buildings. The default setting generates human models with a shoulder width of 0.4558 m, moving at a speed of 1.19 m/s.

In creating computer simulations, the software's default settings assigned to occupants were used and simulations were performed using two behaviour modes: the SFPE mode, as shown in Figs. 8-11 and the reactive steering mode.

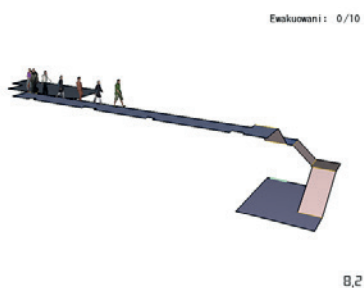


Rycina 8. Rozpoczęcie ewakuacji

Figure 8. Starting the evacuation

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

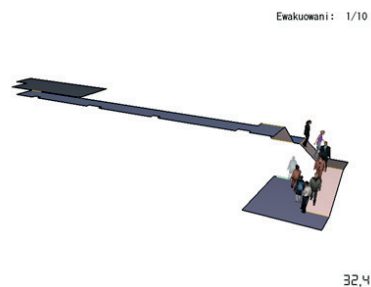


Rycina 9. Przebieg symulacji ewakuacji. Czas $t = 8,2$ s od momentu rozpoczęcia ewakuacji

Figure 9. The course of evacuation simulation. Time $t = 8,2$ s from the beginning of the evacuation

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

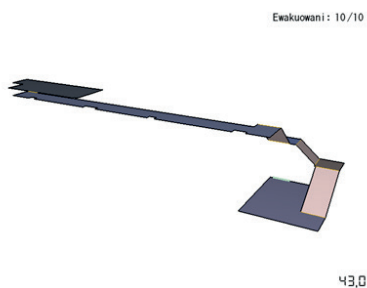


Rycina 10. Ruch po pionowej drodze ewakuacyjnej (końcowy etap ewakuacji). Czas $t = 32,4$ s od momentu rozpoczęcia ewakuacji

Figure 10. Movement on a vertical escape route (the final stage of evacuation). Time $t = 32.4$ s from the moment of the evacuation started

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 11. Zakończenie ewakuacji. Czas $t = 43$ s od momentu rozpoczęcia ewakuacji

Figure 11. The end of the evacuation. Time $t = 43$ s since the beginning of the evacuation

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Zgodnie z przeprowadzoną symulacją komputerową przy wykorzystaniu modelu zachowania SFPE czas ewakuacji 10 osób z budynku wynosi 43 s, a przy wykorzystaniu modelu zmienno-sterującego – 40,3 s. Wyniki uzyskane przy zastosowaniu dwóch różnych modeli dla analizowanego przypadku można uznać za bardzo zbliżone, co zapewne wynika z prostej geometrii drogi ewakuacyjnej i małej liczby ewakuujących się ludzi.

Podsumowanie

Przegląd dostępnej literatury przedmiotu pozwala stwierdzić, że przebieg ewakuacji w znacznej mierze zależy od ludzi biorących w niej udział [3–7, 10–21, 24–55, 61] oraz od zagrożenia występującego w obiekcie [62]. W tracie badań potwierdzono stochastyczny charakter procesu ewakuacji. Pokazał to eksperyment z udziałem strażaków, w którym trzy ewakuacje wykonane w dwudziestominutowych odstępach za każdym razem dały inny czas, mimo że ewakuacje te przeprowadzono w tych samych warunkach i z tymi samymi osobami. Otrzymane czasy różniły się od siebie o ok. 10%. Należy jednak mieć na uwadze to, że strażacy biorący udział w eksperymencie nie wykonywali żadnych prac, lecz jedynie czekali na rozpoczęcie ewakuacji. Tak przeprowadzone badanie potwierdza, że nawet ta sama osoba w tych samych warunkach za każdym razem porusza się z inną prędkością, przez co niemożliwe jest, żeby ewakuacja z obiektu była powtarzalna.

Wnioski

Ze względu na stochastyczny charakter opisanego zjawiska do otrzymanych czasów ewakuacji należy podchodzić z pewnym dystansem, ponieważ nie jesteśmy w stanie przewidzieć, jaka grupa osób będzie się ewakuować, która z płci będzie w niej przeważać, jaki będzie wiek tych osób ani jaka będzie ich kondycja fizyczna. Dlatego ważne jest, żeby podczas projektowania warunków ewakuacji zapewnić pewien margines bezpieczeństwa przy określaniu wymaganego czasu bezpiecznej ewakuacji.

Literatura/Literature

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2015 r. poz. 1422 z późn. zm).
- [2] *Procedury organizacyjno-techniczne w sprawie spełnienia wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w inny sposób, niż to określono w przepisach techniczno-budowlanych, w przypadkach wskazanych w tych przepisach, oraz stosowania rozwiązań zamiennych*, Komenda Główna PSP, Warszawa 2008.
- [3] Małolepszy R., *Wymagany i dostępny czas bezpiecznej ewakuacji – metodyka obliczania*, Zakopane 2010.
- [4] BS 7974:2001 *The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Part 6. Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)*, załącznik PD 7974-6:2004.
- [5] Gwynne S.M.V., Purser D., Boswell D.L., *Pre-warning staff delay: A forgotten Component in ASET/RSET calculations*, w: *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, R.D. Peacock, E.D. Kuligowski, J.D. Averill (red.), Springer, Londyn 2010, s. 243–253.
- [6] Cłapa I., Porowski R., Dziubiński M., *Wybrane modele obliczeniowe czasów ewakuacji*, „Safety & Fire Technique” 2011, 24(4).
- [7] Cłapa I., *Analysis of selected calculation models for evacuation times*, w: *Emergency Evacuation of People from Buildings*, Redaktorzy: Kępska P., Jaskółowski W., BEL Studio, Warszawa 2011, s.71–81.
- [8] *Podręcznik projektanta systemów sygnalizacji pożaru, Część I i II, w: Działanie instalacji przeciwpożarowej wynikającej z założeń scenariusza pożarowego*, J. Sawicki (red.), Izba Rzeczoznawców SITP, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2010.
- [9] Skulich J., *Procedury*, Biuro Rozpoznawania Zagrożeń Komenda Główna PSP, Warszawa 2008.

As determined in the computer simulation using the SFPE behaviour mode, the time of evacuation of 10 people from the building is 43 s, and using the reactive steering mode – 40.3 s. The results obtained using two different modes for the analysed case are highly similar, which probably results from the simple geometry of the escape route and the small number of evacuees.

Summary

A review of the available literature on the subject leads to the conclusion that the progress of evacuation largely depends on the evacuees [3-7, 10-21, 24-55, 61] and the kind of danger occurring in the building [62]. The study confirmed the stochastic nature of the evacuation process. This was shown by the experiment involving firefighters who took part in three evacuations in twenty-minute intervals. The evacuation time was different in each case, even though the evacuations were carried out under the same conditions and with the same participants. The obtained times differed from each other by approx. 10%. It should be noted, however, that the firefighters participating in the experiment were not performing any work, but waited for the evacuation to begin. This type of study confirms that even the same person under the same conditions can move at a different pace each time, which makes it impossible to ensure the reproducibility of evacuation from a building.

Conclusion

Due to the stochastic nature of the described phenomenon, the obtained evacuation times should be approached as approximate, as we are unable to accurately predict the groups of evacuees, the gender and age distribution and physical fitness of its members. For this reason, it is important to keep a certain safety margin in determining the required safe egress time.

- [10] Chołuj Ł., *Bezpieczna ewakuacja a założenia scenariusza pożarowego*, „Safety & Fire Technique” 2013, 3, 127–130.
- [11] Lovreglio R., Ronchi E., Nilsson D., *A model of the decision-making process during pre-evacuation*, „Fire Safety Journal” 2015, 78, 168–179.
- [12] Kobes M., Helsloot K., Vries B. de, Post J.G., *Building safety and human behaviour in fire: A literature review*, „Fire Safety Journal” 2010, 45, 1–11.
- [13] Guowei Z., Di H., Guoqing Z., Guanglin Y., *Probabilistic model for safe evacuation under the effect of uncertain factors in fire*, „Safety Science” 2017, 93, 222–229.
- [14] Rogsch C., Galster R., Luthardt T., Mohr D., *The effect of pedestrian placement and pre-movement times on evacuation simulation*, „Transportation Research Procedia” 2014, 2, 291–299.
- [15] Proulx G., *Evacuation time and movement in apartment buildings*, „Fire Safety Journal” 1995, 24, 229–246.
- [16] Mu H.L., Wang J.H., Mao Z.L., Sun J.H., Lo S.M., Wang Q.S., *Pre-evacuation Human Reactions in Fires: An Attribution Analysis Considering Psychological Process*, „Procedia Engineering” 2013, 52, 290–296.
- [17] D’Orazio M., Longhi S., Olivetti P., Bernardini G., *Design and experimental evaluation of an interactive system for pre-movement time reduction in case of fire*, „Automation in Construction” 2015, 52, 16–28.
- [18] Purser D.A., Bensilum M., *Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations*, „Safety Science” 2001, 38, 157–182.
- [19] Mawson A.R., *Mass Panic and Social Attachment: The Dynamics of Human Behavior*, Ashgate Publishing, Brookfield (VT), 2007.
- [20] Nilsson D., Johansson A., *Social influence during the initial phase of a fire evacuation – analysis of evacuation experiments in a cinema theatre*, „Fire Safety Journal” 2009, 44, 71–79.
- [21] Kuligowski E.D. i Hoskins B.L., *Analysis of occupant behavior during a high-rise office building fire*, w: *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, R.D. Peacock, E.D. Kuligowski, J.D. Averill (red.), Springer, Londyn 2010, s. 685–697.
- [22] <http://sjp.pwn.pl/szukaj/ewakuacja.html>, [dostęp: 30.05.2015].
- [23] <http://www.ekologia.pl/srodowisko/specjalne/najwieksze-pozary-w-polsce-i-na-swiecie,16873,1.html>, [dostęp: 30.05.2015].
- [24] Člapa I., Dziubiński M., *Human behavior as one of the factors determining the course of the evacuation process*, BiTP Issue 3, 2013, 149–158.
- [25] Wang J., Zhang L., Shi Q., Yang P., Hu X., *Modeling and simulating for congestion pedestrian evacuation with panic*, „Physica A: Statistical Mechanics and its Application” 2015, 428, 396–409.
- [26] Jeon G.J., Kim J.Y., Hong W.H., Augenbroe G., *Evacuation performance of individuals in different visibility conditions*, „Building and Environment” 2011, 46, 1094–1103.
- [27] Kady R.A., Davis J., *The effect of occupant characteristics on crawling speed in evacuation*, „Fire Safety Journal” 2009, 44, 451–457.
- [28] Spearpoint M., MacLennan H.A., *The effect of an ageing and less fit population on the ability of people*, „Safety Science” 2012, 50, 1675–1684.
- [29] Kosiński R., Grabowski A., *Matematyczne modelowanie i badania symulacyjne zachowania się ludzi podczas ewakuacji z budynków*, „Bezpieczeństwo Pracy” 2013, 1, 20–25.
- [30] Chattaraj U., Chakraborty U., Subhashini A., *Empirical studies on impacts of obstacle inside corridor on pedestrian flow*, „Procedia – Social and Behavioral Sciences” 2013, 104, 668–677.
- [31] Ko S., Spearpoint M., Teo A., *Trial evacuation of an industrial premises and evacuation model comparison*, „Fire Safety Journal” 2007, 42, 91–105.
- [32] Fang Z.M., Song W.G., Li Z.J., Tian W., Lv W., Ma J., Xiao X., *Experimental study on evacuation process in a stairwell of a high-rise building*, „Building and Environment” 2012, 47, 316–321.
- [33] Ma J., Song W.G., Tian W., Lo S.M., Liao G.X., *Experimental study on an ultra high-rise building evacuation in China*, „Safety Science” 2012, 50, 1665–1674.
- [34] Yang L., Rao P., Zhu K., Liu S., Zhan X., *Observation study of pedestrian flow on staircases with different dimensions under normal and emergency conditions*, „Safety Science” 2012, 50, 1173–1179.
- [35] Shi L., Xie QY, Cheng X.D., Chen L., Zhou Y., Zhang R.F., *Developing a database for emergency evacuation models*, „Building Environment” 2009, 44, 1724–1729.
- [36] Lam J.H.T., Yuen J.K.K., Lee E.W.M., Lee R.Y.Y., *Experimental study on upward movement in a high-rise building*, „Safety Science” 2014, 70, 397–405.
- [37] Fujiyama T., Tyler N., *Predicting the walking speed of pedestrians on stairs*, „Transportation Planning and Technology” 2010, 33, 177–210.
- [38] Peacock R.D., Averill J.D., Kuligowski E.D., *Stairwell Evacuation from Buildings: What We Know We Don’t Know*, NIST Technical Note 1624, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg 2009.
- [39] Frantzich H., *Study of movement on stairs during evacuation using video analysing techniques*, Report 3079, Lund Institute of Technology, Lund University, 1996.
- [40] Peacock R.D., Hoskins B.L., Kuligowski E.D., *Overall and local movement speeds during fire drill evacuations in buildings up to 31 stories*, „Safety Science” 2012, 50, 1655–1664.
- [41] Kretz T., Grunebohm A., Kessel A., Klupfel H., Meyer-Konig T., Schreckenberger M., *Upstairs walking speed distributions on a long stairway*, „Safety Science” 2008, 46, 72–78.
- [42] Cheng H., Yang X.K., *Emergency evacuation capacity of subway stations*, „Procedia – Social and Behavioral Sciences” 2012, 43, 339–348.
- [43] Bosina E., Weidmann U., *Estimating pedestrian speed using aggregated literature data*, „Physica A: Statistical Mechanics and its Application” 2017, 468, 1–29.
- [44] Łozowicka D., *Metody szacowania prędkości przemieszczania się ludzi w modelach ewakuacji ze szczególnym uwzględnieniem specyfiki ewakuacji ze statków pasażerskich*, „Logistyka” 2010, 6, 2031–2040.
- [45] Fang Z., Wang P., Chen D., Chen D.H., Duan J.X., Hu Z.R., *The development of evaluation software of safety evacuation for high buildings*, „Fire Science and Technology” 2004, 23, 439–442.
- [46] Yeo S.K. i He Y., *Commuter characteristics in mass rapid transit in Singapore*, „Fire Safety Journal” 2009, 44, 183–191.
- [47] Lee D., Kim H., Park B.J., Park J.H., *The current status and future issue in human evacuation from ships*, „Safety Science” 2003, 41, 861–876.
- [48] Li Y.Q., *Building fire protection engineering*, Chemistry Industry Press, Pekin 2004.
- [49] Fruin J.J., *Designing for pedestrians: a lever-of-service*, Highway Research Record, Number 355, Pedestrian, Highway Research Board, Washington, DC 1971.
- [50] Larusdottir A.R., Dederichs A.S., *Evacuation of children: Movement on stairs and on horizontal plane*, „Fire Technology” 2012, 48, 43–53.
- [51] Qu Y., Gao Z., Xiao Y., Li X., *Modeling the pedestrian’s movement and simulating evacuation dynamics on stairs*, „Safety Science” 2014, 70, 189–201.
- [52] Lord J.V., Meacham B., Moore A., *Guide for evaluating the predictive capabilities of computer egress models*, National Institute of Standards and Technology, NIST GCR 06–886, 2005.
- [53] Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D., *Evacuation models are running out of time*, „Fire Safety Journal” 2015, 78, 251–261.

- [54] Bosina E., Weidmann u., *Estimating pedestrian speed using aggregated literature data*, „Physica A: Statistical Mechanics and its Application” 2017, 468, 1–29.
- [55] Vermuyten H., Beliën J., Boeck L.D., Reniers G., Wauters T., *A review of optimisation models for pedestrian evacuation and design problems*, „Safety Science” 2016, 87, 167–178.
- [56] Mizieleński B., *Systemy oddymiania budynków wentylacja*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999.
- [57] Mizieleński B., Kubicki G., *Wentylacja pożarowa. Oddymianie*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2012.
- [58] <http://www.pyrosim.pl/pathfinder-symulacja-ewakuacji-z-budynku/budownictwo-ogrzewnictwo.html>, [dostęp: 04.05.2015].
- [59] *Pathfinder 2011, instrukcja obsługi – wersja 2011.2*, Thunderhead Engineering, Stigo.
- [60] Thornton C., O’Konski R., Hardeman B. Swenson D., *Pathfinder: An Agent-Based Egress Simulator*, w: *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, R. Peacock, E. Kuligowski, J. Averill (red.), Springer, Londyn 2011, s. 889–892.
- [61] *Engineering guide to human behavior in fire*, SFPE, 2003.
- [62] Helbing D., Farkas I., Vicsek T., *Simulating dynamical features of escape panic*, „Nature” 2000, 407, 487–490.

MGR INŻ. IWONA ORŁOWSKA – absolwentka Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarnej w Warszawie, funkcjonariusz Państwowej Straży Pożarnej. Obecnie jest doktorantką na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej. Jako przedmiot swoich zainteresowań naukowych wybrała modelowanie numeryczne procesów ewakuacji oraz inżynierię bezpieczeństwa pożarowego.

PROF. DR HAB. INŻ. MAREK DZIUBIŃSKI – pracownik naukowy Politechniki Łódzkiej. Na tej uczelni obecnie pełni funkcję kierownika Katedry Inżynierii Chemicznej na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska. Naukowo interesuje się: przepływami wielofazowymi ze szczególnym uwzględnieniem przepływów dwufazowych cieczy – gaz cieczy newtonowskich i nienewtonowskich, reologią i reometrią techniczną, elementami ryzyka i bezpieczeństwa procesowego (wypływy jedno- i dwufazowe z rurociągów i zbiorników) oraz utrzymaniem emulsji i ich właściwościami.

IWONA ORŁOWSKA, M.ENG. – she graduated from the Faculty of Fire Safety Engineering at the Main School of Fire Service in Warsaw. She is an officer of the State Fire Service. Currently a Ph.D. student at the Faculty of Process and Environmental Engineering of the Lodz University of Technology. Her principal research interests involve the numerical modelling of evacuation processes and fire safety engineering.

PROF. MAREK DZIUBIŃSKI, D.SC. ENG. – a research fellow at the Lodz University of Technology, currently serves as the Head of the Department of Chemical Engineering at the Faculty of Process Engineering and Environmental Protection. His scientific interests revolve around multiphase flows, with particular emphasis on Newtonian and non-Newtonian liquid-gas liquid flows, rheology and technical rheometry, risk and process safety elements (single- and two-phase outflows from pipelines and reservoirs), and the maintenance of emulsions and their properties.