

Mariusz Barański, M.Sc. Eng. <sup>a)\*</sup>

<sup>a)</sup> *Łódź University of Technology / Politechnika Łódzka*

\* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: 801229@edu.p.lodz.pl*

## A Review of Models That Take Into Account the Effects of Emotional Contagion During Evacuation

### Przegląd modeli uwzględniających efekt zarażania emocjonalnego w procesie ewakuacji

#### ABSTRACT

**Purpose:** A number of programs are available on the market to estimate individual parameters of the evacuation process. Starting from the estimated time of evacuation from the building, to the distribution of the use of individual evacuation routes, to the impact of the spreading of fire on evacuees. The most commonly used programs for modeling the evacuation process include Simulex, FDS + Evac, and Vissim. Currently, evacuation modeling software does not take into account psychological interactions between evacuees. What is of special importance in the evacuation process is emotional contagion. The phenomenon of emotional contagion has been the subject of extensive research recently. This article presents the current progress on the development of an accurate model that takes into account the effect of emotional contagion. Problems hindering the development of an appropriate model are also presented.

The development prospects for such tools are also discussed using the example of the available models, such as ESCAPE, ASCRIBE and Durupinar.

**Introduction:** The design of modern buildings requires the participants of the investment process to implement a number of solutions to ensure the safety of their future users. All types of modelling tools are used for this purpose, including those for evacuation modelling. Progress in the design of escape routes has contributed to the design of buildings that are much safer than they used to be in the past. Proper building design requires an analysis of a number of fire scenarios. The development of evacuation models is indispensable for proper safety assurance in designed and constructed buildings.

**Methodology:** This article reviews the available literature on the existing models taking into account the effect of emotional contagion. It analyses and compares existing models and discusses limitations that prevent their use for evacuation safety analysis.

**Conclusions:** Current evacuation modelling software does not take into account emotional contagion, an important phenomenon that occurs between evacuees. This phenomenon is common in every-day life but is particularly important during events involving crowds of people. It is necessary to further develop existing models to allow a more accurate reflection of reality, also in the context of emotional contagion. What may be helpful in this respect is research in the field of the psychology of emotion.

**Keywords:** modelling, emotional contagion, evacuation

**Type of article:** review article

---

**Received:** 21.05.2019; **Reviewed:** 11.06.2019; **Accepted:** 30.06.2019;

Author's ORCID ID: 0000-0002-2217-6539;

**Please cite as:** SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 106–116, <https://doi.org/10.12845/sft.51.3.2019.6>;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

---

## ABSTRAKT

**Cel:** Obecnie rynek oferuje szereg programów umożliwiających szacowanie poszczególnych parametrów procesu ewakuacji – począwszy od przypuszczalnego czasu ewakuacji obiektu, poprzez rozkład wykorzystania poszczególnych dróg ewakuacyjnych, na wpływie rozprzestrzeniającego się pożaru na ewakuujące się osoby kończąc. Najczęściej używane programy do modelowania procesu ewakuacji to m.in. Simulex, FDS+Evac, Vissim. Aktualnie oprogramowanie do modelowania ewakuacji nie uwzględnia psychologicznych interakcji pomiędzy uczestnikami tego procesu. Szczególne znaczenie w procesie ewakuacji ma efekt zarażania emocjonalnego. Na przestrzeni ostatnich lat zjawisko to jest szczegółowo badane. W artykule przedstawiono aktualny postęp nad opracowaniem odpowiedniego modelu uwzględniającego efekt zarażania emocjonalnego. Przedstawiono również problemy utrudniające jego powstanie. Wskazano również na perspektywy rozwoju tego typu narzędzi na przykładzie rozwijanych modeli tj. Escape, ASCRIBE i Durupinar.

**Wprowadzenie:** Projektowanie nowoczesnych budynków wymaga od uczestników procesu inwestycyjnego zaangażowania szeregu narzędzi dla zapewnienia bezpieczeństwa ich przyszłych użytkowników. W tym obszarze zastosowanie mają wszelkiego rodzaju narzędzia do modelowania, w tym do modelowania ewakuacji. Postęp w zakresie projektowania dróg ewakuacji przyczynia się do projektowania budynków znacznie bezpieczniejszych niż to miało miejsce w przeszłości. Prawidłowe zaprojektowanie budynku wymaga przeanalizowania szeregu scenariuszy rozwoju zdarzeń w czasie pożaru. Doskonalenie modeli ewakuacji jest niezbędne do właściwego zapewnienia bezpieczeństwa w projektowanych i budowanych obiektach.

**Metodologia:** W artykule dokonano przeglądu literatury w zakresie istniejących modeli uwzględniających efekt zarażania emocjonalnego. Dokonano analizy i porównania istniejących modeli oraz przedstawiono ograniczenia uniemożliwiające ich wykorzystanie do analizy bezpieczeństwa ewakuacji.

**Wnioski:** Obecne oprogramowanie do modelowania ewakuacji nie uwzględnia istotnego zjawiska, które występuje pomiędzy ewakuującymi się osobami zarażania emocjami. Zjawisko to towarzyszy nam na co dzień i ma szczególne znaczenie podczas zdarzeń z udziałem tłumu w sytuacji zagrożenia. W związku z tym niezbędny jest dalszy rozwój istniejących modeli pozwalających na dokładniejsze odzwierciedlenie rzeczywistości, również w kontekście zarażania emocjonalnego. Pomocne w tym mogą być badania z zakresu psychologii emocji.

**Typ artykułu:** artykuł przeglądowy

**Słowa kluczowe:** modelowanie, ewakuacja, zarażanie emocjonalne

Przyjęty: 21.05.2019; Zrecenzowany: 11.06.2019; Zatwierdzony: 30.06.2019;

Identyfikator ORCID autora: 0000-0002-2217-6539;

Proszę cytować: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 106–116, <https://doi.org/10.12845/sft.51.3.2019.6>;

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

## Background

At the most general level, the Republic of Poland guarantees people safety under Article 5 of its Constitution [1]. Further Acts and regulations provide a more specific description of the extent to which the State ensures the safety of its citizens, also during evacuation.

In dangerous situations, people are faced with a fight-or-flight response, or, if the threat is unavoidable, they freeze [2]. In critical moments, when the individual is helpless, the only reasonable choice is to flee. Such behaviour (escape, or evacuation) is defined in such standards as PN-ISO 8421-6: 1997 *Fire protection – Vocabulary – Evacuation and means of escape* [3]. According to this Polish standard, evacuation is an orderly movement of people to a secure location (in the event of a fire or another hazard). But our analysis of evacuation cases provides evidence to support the claim that such movement is not always orderly. Observation of real-life emergency situations shows that evacuees' responses are often delayed (up to 10 minutes from the time alarm rings) and instead of taking the shortest evacuation route, people tend to choose the exits they know [4, 5]. Any delay in evacuation might contribute to greater time pressure related to the need to leave the dangerous location. In the event of rapidly developing hazards that create agitation among the evacuees and put them under greater time pressure, people might be moving chaotically. Such events are extremely rare, but if they

## Wprowadzenie

Rzeczpospolita Polska gwarantuje bezpieczeństwo ludzi już na poziomie ustawy zasadniczej w art. 5 Konstytucji [1]. Ustawa oraz rozporządzenia bardziej szczegółowo definiują zakres, w jakim państwo zapewnia bezpieczeństwo obywateli – również bezpieczeństwo ewakuacji.

W sytuacji zagrożenia człowiek staje przed wyborem walki z nim lub ucieczki (zjawisko *fight-or-flight*), albo – w przypadku gdy zagrożenia nie może uniknąć – ulega zniechęceniu [2]. W krytycznym położeniu, w którym jednostka jest bezradna, jedynym właściwym wyborem jest ucieczka. Zachowanie to (ewakuacja) zdefiniowane jest m.in. w normie PN-ISO 8421-6: 1997 *Ochrona przeciwpożarowa – Terminologia – Ewakuacja i środki ewakuacji* [3]. Według polskiej normy ewakuacja to uporządkowany ruch osób do miejsca bezpiecznego (w przypadku pożaru lub innego zagrożenia). Jednak przeprowadzona przez autorów artykułu analiza sytuacji związanych z ewakuacją ludzi daje argumenty świadczące o tym, że nie zawsze mamy do czynienia z ruchem zorganizowanym. Obserwacje rzeczywistych zdarzeń pokazują, że uczestnicy ewakuacji często reagują z opóźnieniem (nawet do 10 min od alarmu) oraz wybierają znane drogi ewakuacyjne zamiast kierować się do najbliższych wyjść ewakuacyjnych [4, 5]. Wszelkie spowolnienia w rozpoczęciu ewakuacji powodują zwiększoną presję czasową związaną z potrzebą opuszczenia miejsca zagrożonego. W przypadku zagrożeń szybko rozwijających się, wzbudzających znaczne poruszenie wśród uczestników,

do occur, they often have tragic consequences, including fatalities. The results of research and recently developed theoretical models have shown that until the hazard actually becomes extreme and escalates beyond the ability to correctly assess and evaluate the situation, people act reasonably based on the available information [6, 7]. The theory of emergency-related stress suggests that as emotional arousal builds up, people tend to perform more efficiently and effectively, but only to a certain point, i.e., until they reach the optimum level. If the emotional arousal continues to grow, the efficiency and effectiveness of their actions drop significantly, and as such arousal peaks, they might become completely unable to act rationally [8]. This phenomenon, also known as the Yerkes-Dodson law [9], is confirmed by latest research [10]. Researchers found that emotions can be communicated between the participants in an event regardless of whether they are actively involved or just observing [11]. Information about the hazard and the associated emotions can spread freely across the crowd [12].

## Panic

Robert Plutchik [13] has observed that emotions can be divided into several groups. And each group can have emotions of varying intensity. Plutchik developed what is known as ‘the wheel of emotions’. It includes all the groups of emotions, (sub) divided by intensity. This classification has received broad recognition among scholars exploring theories of emotions. Figure 1 shows Plutchik’s wheel of emotions.

As a result of a hazard, the crowd can experience specific emotions, such as concern, anxiety, fear, fright, and panic. The one that is the most dangerous is panic, which can be produced by serious hazards. John P. Keating has identified four constituent elements of panic [15]:

- hope of being able to escape as the chances of doing so are decreasing;
- contagious behaviour;
- aggressive interest in one’s own safety; and
- irrational and illogical behaviour.

Noriss R. Johnson would argue that panic is acting in a selfish way to compete in disregard of social and cultural norms and to “violate the social order, and compete in a way unregulated by social constraints” [16]. And Robert M. Goldenson proposes that panic is a response that involves terror, confusion, and irrational behaviour caused by a serious and dangerous situation [17]. Anthony R. Mawson describes this emotion as an excessive and serious fear and/or flight when faced with a threat [18]. The emotion has also been defined as an extreme response to stress that prepares your body to fight or to flee. It also limits intellectual capabilities to increase the chances of survival. This is why in many cases it is virtually impossible to communicate with people who are in a state of panic [19].

wywierających presję ograniczonego czasu może dochodzić do przemieszczania się ludzi w sposób chaotyczny. Zdarzenia takie mają miejsce niezwykle rzadko, ale jeśli już wystąpią, bardzo często prowadzą do tragicznych sytuacji, z ofiarami śmiertelnymi włącznie. Wyniki badań i teoretyczne modele opracowywane na przestrzeni ostatnich lat pokazują, że dopóki zagrożenie nie stanie się rzeczywiście ekstremalne i dopóki nie zostanie przekroczona możliwość percepcji i właściwej oceny sytuacji, człowiek działa racjonalnie, kierując się dostępnymi informacjami [6, 7]. Teoria stresu w sytuacjach trudnych wskazuje, że wraz ze wzrostem pobudzenia emocjonalnego wzrasta się wyrażnie sprawność i skuteczność działania, ale tylko do pewnego stopnia tzn. do osiągnięcia poziomu optymalnego. Przy dalszym wzroście pobudzenia emocjonalnego skuteczność i jakość podejmowanych działań znacząco się obniża, a przy maksymalnym poziomie pobudzenia emocjonalnego może dochodzić do zupełnej niezdolności do racjonalnego działania [8]. Zjawisko to zwane również prawem Yerkesa-Dadsona [9] znajduje potwierdzenie w aktualnych badaniach [10]. Wskazują one, że emocje mogą być przekazywane pomiędzy uczestnikami danego zdarzenia niezależnie od tego, czy znajdują się oni w centrum wydarzeń, czy są tylko obserwatorami [11]. Informacja o zagrożeniu oraz towarzyszące jej emocje mogą swobodnie rozprzestrzeniać się w tłumie [12].

## Panika

Robert Plutchik [13] zaobserwował, że emocje można podzielić na kilka grup. W każdej z nich występują przybierają one różną intensywność. Plutchik opracował diagram w postaci paraboloidy, w którym umieścił poszczególne grupy emocji z podziałem na ich intensywność. Klasyfikacja ta znalazła szerokie uznanie w naukach o teorii emocji. Rycina 1 przedstawia paraboloidę Plutchika.

W związku z występującym zagrożeniem w tłumie może dochodzić do powstawania określonych emocji takich jak: obawa, niepokój, lęk, strach czy panika. Najbardziej niebezpieczną jest panika, która może być wynikiem występowania dużego zagrożenia. John P. Keating wyróżnił cztery elementy składowe paniki [15]:

- nadzieję na możliwość ucieczki przy zmniejszających się możliwościach;
- zaraźliwe zachowania;
- agresywne zainteresowanie własnym bezpieczeństwem,
- nieracjonalne i nielogiczne zachowania.

Według Norissa R. Johnsona panika to zachowanie polegające na egoistycznej rywalizacji niekontrolowanej przez społeczne i kulturowe normy oraz polegające na „łamaniu porządku społecznego, rywalizacji nieregulowanej przez siły oddziaływań społecznych” [16]. Natomiast według Roberta M. Goldensona panika jest reakcją obejmującą terror, zamieszanie i irracjonalne zachowanie wywołane groźną, niebezpieczną sytuacją [17]. Z kolei Anthony R. Mawson określa tę emocję jako nadmierny oraz intensywny strach i/lub ucieczkę podczas zagrożenia [18]. Definiowana jest również jako skrajna reakcja na stres, która przygotowuje ludzkie ciało do ucieczki lub walki. Powoduje również ograniczenia intelektu w celu zwiększenia szansy na przetrwanie. Dlatego też w wielu przypadkach praktycznie niemożliwe jest komunikowanie się ludzi znajdujących się w stanie paniki [19].

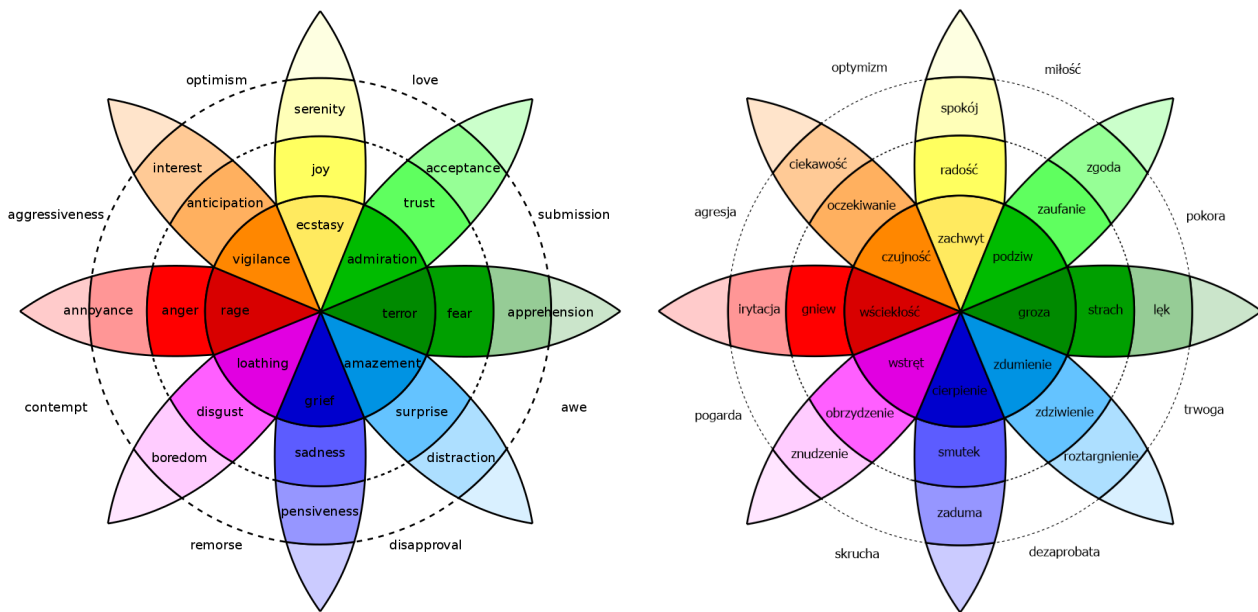


Figure 1. Plutchik's wheel of emotions [14]

Rycina 1. Koło emocji Plutchika [14]

In summary, panic is a response to considerable stress and fear caused by an external threat that could harm or kill you. This response impairs the quality of people's decisions, and in some cases renders them completely unable to act.

Podsumowując, zdaniem autora panika jest reakcją na intensywny stres, strach wywołany zewnętrznym zagrożeniem, które może prowadzić do unicestwienia jednostki lub jej śmierci. Reakcja ta prowadzi do ograniczenia jakości podejmowanych decyzji, a w niektórych przypadkach powoduje całkowitą niezdolność do jakiegokolwiek działania.

## Human needs vs hazards

Events involving crowds faced with a hazard can also be analysed in terms of human needs. One of our primary needs is the need for safety. This is reflected in the hierarchy of needs proposed by A. Maslow [20]. In that hierarchy, represented as a pyramid, physiological needs are followed by those closely connected with safety, i.e. certainty, stability, support, and sense of law and order. The need for safety is considered to be an active and dominant factor that motivates people only in crisis situations. In threat situations all the other needs become secondary to the need for safety. This claim is supported by the behaviour of individuals in a state of panic, as they selfishly compete to achieve as much safety as possible and seek to leave the dangerous location regardless of what happens to other people [21].

## Evacuation models

The term 'panic' is closely related to people (considered) as a group. Such a group of people who experience very strong emotional arousal due to a dangerous situation, such as a fire, an earthquake, or a terrorist act, as a result of which all individuals behave the same, is referred to as a crowd [22]. A broad

## Ludzkie potrzeby a zagrożenia

Zdarzenia z udziałem tłumu w sytuacji zagrożenia można analizować również pod kątem ludzkich potrzeb. Jedną z najbardziej podstawowych jest bezpieczeństwo, co ma odzwierciedlenie w hierarchii potrzeb zaproponowanej przez A. Maslowa [20]. W trójce potrzeb po zaspokojeniu tych fizjologicznych znajduje się nowy zbiór potrzeb związanych ściśle z bezpieczeństwem (tj. pewność, stabilność, oparcie, poczucie porządku i prawa). Potrzebę bezpieczeństwa uznaje się za aktywny i dominujący czynnik, który mobilizuje zasoby organizmu jedynie w sytuacjach kryzysowych. Wszystkie inne potrzeby stają się w sytuacji zagrożenia mniej ważne od potrzeby bezpieczeństwa. Potwierdza to zachowania jednostki znajdującej się w stanie paniki – wówczas egoistycznie rywalizuje ona o jak największy poziom bezpieczeństwa, dąży do opuszczenia miejsca zagrożenia bez względu na dobro innych [21].

## Modele ewakuacji

Pojęcie paniki ściśle związane jest ze zbiorowością ludzi. Zbiorowość ludzi, znajdująca się pod wpływem bardzo silnego pobudzenia emocjonalnego spowodowanego sytuacją zagrożenia (np. pożarem, trzęsieniem ziemi, aktem terrorystycznym), w którego efekcie wszystkie jednostki przejawiają takie samo

range of tragic stories involving crowds can be found on Professor G. Keith Still's website [23].

To control crowd responses is a huge challenge, especially for the security personnel that provide support during mass gatherings. One of the methods to reduce the risk of panic behaviour in a crowd is to take into account crowd density when designing the infrastructure. This is more and more often supported by evacuation models that help identify the locations that are potentially dangerous due to the possibility of attracting large crowds of people which markedly exceed design specifications. Such models make it possible to correctly design evacuation routes well in advance as the mass gathering or construction design are only being prepared. Another, but much less effective, way is to manage the crowd when the hazard has already occurred [24].

Evacuation models taking crowds into account are used to analyse a number of phenomena, such as the correct choice of emergency exits, the creation of queues, herd behaviour, spread of panic, smooth movement, decision-making behaviour, competition during movement of people, cooperation between evacuees, family behaviour, blocking and congestion of emergency routes, and queue-related behaviour. Evacuation modelling software does not factor in all psychological and social factors (e.g. emotional contagion), which significantly reduces its usability for modelling the state of panic within a crowd. The analysis carried out in *Modelling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches* [25] shows that there is a need for evacuation models to take into consideration psychological and physiological elements that affect the individual and group behaviour of evacuees.

The available tools make it possible to estimate not only the expected duration of evacuation, but also the number of people who will behave reasonably and will not be under severe stress in connection with the hazard.

Evacuation scenarios can be modelled on either a macroscopic or microscopic level. In the former case, the crowd is treated as a whole, while in the latter specific parameters are analysed for each individual separately. Among macroscopic models, there are those that rely on hydrodynamic principles to describe crowds as fluids with laminar flow [26] and as groups having dipole moments and being affected by magnetic field forces [27]. The microscopic approach has supplanted macroscopic models, as it is much more accurate in capturing what actually happens in real life. It involves modelling individual people within the crowd. These people have specific decision-making and behaviour patterns attributed to them. This approach includes models based on molecular dynamics [28, 29, 30], artificial intelligence [31], cellular automation [32, 33, 34, 35, 36], and agent-based models [34, 37, 38, 39].

These models have been implemented in many commercial and open-source evacuation-planning applications, such as FDS-Evac, Pathfinder, Steps, EvacuatioNZ, Legion, EXODUS, Simulex, EVACNET4, VISSIM, AENEAS, and PedGo [40, 41].

zachowanie, nazywamy tłumem [22]. Szeroki przegląd tragicznych zdarzeń z udziałem tłumów znajduje się na portalu internetowym profesora G. Keitha Stilla [23].

Kontrolowanie reakcji tłumy stanowi ogromne wyzwanie szczególnie dla służb porządkowych zabezpieczających m.in. imprezy masowe. Jednym ze sposobów zmniejszenia ryzyka wystąpienia zachowań panicznych w tłumie jest planowanie infrastruktury z uwzględnieniem zagęszczenia ludzi. Pomocą w tym zakresie coraz częściej służą modele ewakuacji, które pozwalają na wskazanie miejsc potencjalnie niebezpiecznych ze względu na możliwość gromadzenia się w nich dużych skupisk ludzi znacznie przekraczających założenia projektowe. Modele takie umożliwiają odpowiednie zaprojektowanie dróg ewakuacji jeszcze na etapie przygotowywania imprezy masowej lub projektowania obiektu budowlanego. Innym, choć znacznie mniej skutecznym sposobem jest odpowiednie oddziaływanie na tłum w sytuacji, gdy już powstało zagrożenie [24].

Modele ewakuacji z udziałem tłumy są wykorzystywane do analizy szeregu zjawisk takich jak właściwy wybór wyjść ewakuacyjnych, tworzenie się kolejek, zachowania stadne, rozprzestrzenianie się paniki, zachowania płynności przemieszczania, zachowania związane z podejmowaniem decyzji, rywalizacją i konkurencją podczas przemieszczania się ludzi, współpracą uczestników ewakuacji, zachowania rodzinne, blokowanie i zatykanie się dróg ewakuacyjnych oraz zachowania związane z występowaniem kolejek. Oprogramowanie do modelowania ewakuacji nie uwzględnia wszystkich czynników psychologicznych i społecznych (m.in. zarażania emocjonalnego), co znacznie ogranicza wykorzystanie ich do modelowania stanu paniki z udziałem tłumy. Analiza przeprowadzona w publikacji *Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches* [25] wskazuje na potrzebę włączenia do modeli ewakuacji elementów psychologicznych i fizjologicznych wpływających na indywidualne i zbiorowe zachowania uczestników.

Obecne narzędzia pozwalają na oszacowanie nie tylko czasu procesu ewakuacji, ale również liczby osób zachowujących się racjonalnie niebędących pod wpływem intensywnego stresu związanego z zagrożeniem.

Modelowanie ewakuacji może odbywać się na poziomie makroskopowym (tłum traktowany jako całość) lub na poziomie mikroskopowym (analiza parametrów związanych z każdą osobą oddzielnie). Wśród modeli makroskopowych można wyróżnić te bazujące na zasadach hydrodynamiki opisującej tłum jako płyn o laminarnym przepływie [26] oraz jako zbiorowości wykazującej moment dipolowy i podlegających siłom pola magnetycznego [27]. Podejście mikroskopowe wyparło modele makroskopowe ze względu na znacznie większą dokładność w odwzorowaniu rzeczywistości. Polega ono na modelowaniu pojedynczych osób w tłumie, którym przypisuje się pewien sposób podejmowania decyzji i zachowania zgodnego z określonymi regułami. Można wymienić wśród nich modele oparte na metodach dynamiki molekularnej [28, 29, 30], sztucznej inteligencji [31], automatach komórkowych [32, 33, 34, 35, 36] oraz systemach agentowych [34, 37, 38, 39].

W oparciu o opisane modele powstało szereg komercyjnych oraz ogólnodostępnych aplikacji do projektowania procesu ewakuacji tj.: FDS-Evac, Pathfinder, Steps, EvacuatioNZ, Legion, EXODUS, Simulex, EVACNET4, VISSIM, AENEAS, PedGo [40, 41].



## Evacuation models that take into account emotional interactions between evacuees

**[ASCRIBE]** The development of evacuation models that take into account emotion contagion between evacuees has been inspired by two publications [42, 43]. A model introduced by Bosse suggests that emotions are communicated through a channel established between the sender and the receiver. Bosse argues that group emotions are the sum total of the emotions experienced by each individual member of the group. This takes into account the differences between individual personality traits, such as neuroticism and extroversion. This mechanism is similar to that behind heat dissipation in physics, where each material has specific heat capacity, which can be likened to an individual's susceptibility to other people's emotions in the process of emotional contagion. This computational model proposes a number of variables to account for the contagion between the emotion-sending agent  $S$  and the emotion-receiving agent  $R$ , and the communication channel between the two. The basic model uses the following variables:

- level of sender's emotion,
- level of receiver's emotion,
- sender's expressiveness,
- receiver's openness (to emotions),
- strength of the (communication) channel between the sender and the receiver.

Expressiveness reflects how expressive, active and energetic the sender is. This variable corresponds to such personality traits as extroversion and sensation seeking, and is rooted in the Behavioural Activation System (BAS). It shows to what degree the individual expresses their internal emotions outwardly. An introvert will produce weaker emotional contagion than an extrovert. Channel strength depends on the type and intensity of the interaction between the two people (e.g. attachment, family relationship). And openness shows how sensitive the receiver is (to other people's emotions), or, in other words, how much of other people's emotions they allow in, and whether they are compliant or emotionally stable.

**[Durupinar]** The second important model that describes emotional contagion within crowds of people was proposed by F. Durupinar in her PhD thesis [44]. This is a probabilistic model based on epidemiological modelling of spread of disease. The first step of the simulation is to draw randomised threshold values and doses for each agent. This model assumes that agents can only have two states, either *susceptible* or *infected*. When a susceptible person meets an infected one, there is a certain likelihood that the former will become infected by the latter.

$$D_j = \sum_{t'=t-k+1}^t d_i(t') \quad (1)$$

Exposure means receiving a random dose  $d_j$  drawn from a pre-determined probability distribution. Each agent maintains a running history of the doses received throughout the simulation. If the cumulative total of the doses  $D_j(t)$  in the agent's history exceeds their threshold  $T_j$ , the agent becomes infected.

## Modele ewakuacji uwzględniające interakcje emocjonalne uczestników

**[ASCRIBE]** Prace nad modelami ewakuacji uwzględniającymi rozprzestrzenianie się emocji między jej uczestnikami rozpoczęły się od dwóch publikacji [42, 43]. Model wprowadzony przez Bosse zakłada przechodzenie emocji kanałem ustalonym pomiędzy nadawcą i odbiorcą. Według autora emocje grupowe można określić jako sumę emocji poszczególnych jednostek występujących w grupie. Uwzględni on różnice pomiędzy indywidualnymi cechami osobowościowymi takimi jak: neurotyczność i ekstrawersja. Zaproponowany mechanizm przypomina modelowanie rozpraszania ciepła w fizyce, w którym każdy materiał ma określoną pojemność cieplną, co można porównać z podatnością osoby na emocje innych ludzi w procesie zarażania emocjonalnego. W modelu obliczeniowym zaproponowano wiele zmiennych odrywających rolę w zarażaniu pomiędzy agentem wysyłającym emocje  $S$ , agentem odbierającym emocje  $R$  oraz kanałem łączącym obydwu agentów. W podstawowym modelu sformułowano następujące zmienne:

- poziom emocji nadawcy,
- poziom emocji odbiorcy,
- ekspresja emocji nadawcy,
- otwartość na przyjmowanie emocji przez odbiorcę,
- siła kanału łącząca nadawcę z odbiorcą.

Ekspresja emocji zależy od tego, jak ekspresywna, aktywna lub energiczna jest osoba nadająca emocję. Zmienna ta odpowiada cechom osobowości ekstrawersji i poszukiwaniem sensacji, zakorzeniona jest w układzie nerwowym BAS. Mówi ona o tym, jak daleko człowiek przekształca swoje emocje wewnętrzne w zewnętrzną ekspresję. Introwertyk wywoła słabszy efekt zarażania emocjonalnego niż ekstrawertyk. Siła kanału zależy od rodzaju i intensywności kontaktu pomiędzy dwiema osobami (np. relacje przywiązania, relacje rodzinne). Zmienna otwartości natomiast określa stopień wrażliwości osoby odbierającej emocje. Pokazuje ona, w jakim stopniu odbiorca pozwala na otrzymywanie emocji od innych, czy jest uступliwy lub stały emocjonalnie.

**[Durupinar]** Drugi istotny model opisujący zjawisko zarażania emocjonalnego występującego w tłumie zaproponowała F. Durupinar w swojej rozprawie doktorskiej [44]. Jest to probabilistyczny model oparty na epidemiologicznym modelu rozprzestrzeniania się choroby. W pierwszym kroku symulacji dla każdego agenta losowane są dawki oraz wartości progowe. W modelu zakłada się, że agenci mogą znajdować się w dwóch stanach: podatnym i zarażonym. Gdy osoby podatne wejdą w kontakt z zarażonymi, mogą zarazić się z pewnym prawdopodobieństwem.

$$D_j = \sum_{t'=t-k+1}^t d_i(t') \quad (1)$$

Ekspozycja oznacza otrzymanie losowej dawki  $d_j$  z określonego rozkładu prawdopodobieństwa. Dla wszystkich osób zapamiętywane są dawki cząstkowe w kolejnych krokach symulacji. Jeśli dawka skumulowana  $D_j(t)$  przekroczy w czasie symulacji określoną wartość progową  $T_j$ , to osoba ulega zarażeniu.

$$d_j = \log - N(\mu_{d_j}, \sigma_{d_j}^2) \quad (2)$$

$$T_j = \log - N(\mu_{T_j}, \sigma_{T_j}^2) \quad (3)$$

As a result, their status changes from susceptible to infected.

**[ESCAPES]** In their work, Jason Tsai, Natalie Fridman, Emmy Bowring et al. [45] proposed an evacuation tool based on the multi-agent model. It has four primary elements – various types of agents, emotional interactions, informational interactions, and behavioural interactions. In their work, the authors modelled evacuation for the International Terminal at Los Angeles International Airport (LAX). ESCAPES comprises a 2D, OpenGL environment and a 3D visualisation component using Massive Software. This system provides a probabilistic modelling of behaviour for each agent from among the available subset of behaviour types. Behaviour modelling is based on the combination of six Cognitive Mechanisms, each of which prioritise some of the agent's desires. One of such mechanisms is escape behaviour, with three alternatives – 'Run to Nearest Exit', 'Run to My Exit', and 'Search for Exit'. Each agent also has specific levels of emotions (fear level), an event certainty level, and a list of known exits. Fear is modelled as an integer value between 0 and 2 (*FearFactor*), 0 indicating that the agent has no fear. Higher levels of fear lead to higher movement speeds (to get out of the area as soon as possible). Event certainty is also modelled as an integer value between 0 and 2 (*EventCertainty*), designating how aware the agent is that an event has occurred and that, therefore, an evacuation is necessary. The highest level of event certainty is generated only by the agents close to the event. Further away agents may have *EventCertainty* of 1, and those furthest away have an *EventCertainty* of 0. Exit knowledge is modelled as a binary value. Such knowledge is dictated by where the agent entered from, a random chance to forget that exit, and the presence of authority figures nearby that would inform them of exits. In addition, ESCAPES models the presence of family units composed of two parents and two children with behaviours and cognitive mechanisms not applicable to general agents. When a danger occurs, parents immediately seek each other out to gather the family together before proceeding to an exit.

**[Evaluation of the described models]** The discussed models will now be theoretically analysed on the basis of single examples of real-life scenario modelling. At this stage, they have not been validated or verified. This limits their applicability in the assessment of evacuation safety.

Given the complexity of the psychological processes occurring between evacuees, the development of the right model can be very challenging.

$$d_j = \log - N(\mu_{d_j}, \sigma_{d_j}^2) \quad (2)$$

$$T_j = \log - N(\mu_{T_j}, \sigma_{T_j}^2) \quad (3)$$

Jest to równoznaczne ze zmianą stanu z podatnego na zarażony.

**[ESCAPES]** W pracy autorstwa Jasona Tsai, Natalie Fridman, Emmy Bowring i in. [45] zaproponowano narzędzie do ewakuacji bazujące na modelu wieloagentowym. Zakłada ono cztery podstawowe elementy: różne typy agentów, interakcje emocjonalne, interakcje informacyjne, interakcje behawioralne. W pracy autorzy przeprowadzili modelowanie ewakuacji dla międzynarodowego terminala na lotnisku w Los Angeles. W systemie ESCAPES zastosowano dwuwymiarowe środowisko OpenGL i komponent wizualizacji 3D z oprogramowaniem Massive Software. System pozwala na określenie w sposób probabilistyczny dla każdego agenta odpowiedniego zachowania spośród dostępnego podzbioru typów. Określanie odpowiedniego zachowania bazuje na kombinacji sześciu mechanizmów poznawczych (*Cognitive Mechanisms*), w których każdy definiuje dążenia i pragnienia agenta. Jednym z mechanizmów poznawczych jest chociażby zachowanie ucieczkowe, dla którego przypisano trzy warianty: ucieczka do najbliższego wyjścia, ucieczka do znanego agentowi wyjścia, poszukiwanie wyjścia. Każdy agent ma również określony poziom emocji (poziom lęku), pewności zdarzenia oraz listę znanych mu wyjść ewakuacyjnych. Strach jest tu modelowany jako liczba całkowita z przedziału od 0 do 2 (*FearFactor*), gdzie 0 oznacza brak strachu. Kolejne poziomy strachu prowadzą do wyższych prędkości przemieszczania się. Pewność zdarzenia również jest modelowana jako wartość całkowita z przedziału od 0 do 2 (*EventCertainty*), określająca stopień świadomości agentów do miejsca zdarzenia oraz związaną z tym koniecznością ewakuacji. Najwyższy poziom wykazują agenci znajdujący się w pobliżu zdarzenia. W większej odległości od zdarzenia pewność agentów kształtuje się na poziomie 1, natomiast agenci najbardziej oddaleni od centrum zagrożenia na poziomie 0. Znajomość przez agentów wyjść ewakuacyjnych jest wartością binarną. Składa się na nią wiedza o wyjściu, którym dany agent wszedł, losowa szansa na zapomnienie danego wyjścia oraz informacje od agentów znajdujących się w pobliżu, którzy są upoważnieni do informowania o wyjściach ewakuacyjnych. W modelu ESCAPES autorzy wykorzystują również obecność rodzin (w składzie: dwoje rodziców i dwoje dzieci), których zachowania i mechanizmy poznawcze są odmienne od mechanizmów ogólnie przyjętych dla pozostałych agentów. Kiedy występuje sytuacja zagrożenia, rodzice szukają siebie nawzajem, aby zebrać wszystkich członków rodziny przed wyjściem ewakuacyjnym.

**[Ocena przywołanych modeli]** Prezentowane modele poddawane są obecnie analizie teoretycznej z pojedynczymi przykładami modelowania rzeczywistych zdarzeń. Na tym etapie nie zostały odpowiednio zwalidowane oraz zweryfikowane. Ogranicza to możliwość zastosowania powyższych modeli w aplikacjach służących do oceny bezpieczeństwa ewakuacji.

Złożoność procesów psychologicznych zachodzących pomiędzy ewakuującymi się osobami powoduje znaczne trudności w opracowaniu odpowiedniego modelu.

**Table 1. Model comparison****Tabela 1. Porównanie modeli**

Model	Heightened emotion Rodzaj rozprzestrzeniającej się emocji	Applicability Zastosowanie	Real-life event to compare to Porównanie z rzeczywistym zdarzeniem	Agent personality model used Wykorzystany model osobowości agenta	Emotion scale Skala emocji
ESCAPE [45]	Fear / Strach	Evacuation Ewakuacja	Los Angeles International Airport Międzynarodowe Lotnisko w Los Angeles,	–	Three levels of fear (0, 1, 2) Trzy poziomy strachu (0, 1, 2)
ASCRIBE [42]	Fear / Strach	A person shouting in a crowd Krzycząca osoba w tłumie	Dam Square in Amsterdam Plac Dam w Amsterdamie	–	Continuous, between 0 and 1 Ciągła z przedziału od 0 do 1
Durupinar [44]	Fear, anger, joy Strach, złość, radość	Festival, Protest, Evacuation Festiwal, Protest, Ewakuacja	–	OCEAN [46]	Binary (0, 1) Binarna (0, 1)

**Source:** Own elaboration.

**Źródło:** Opracowanie własne.

## Current issues in modelling emotional contagion in crowds of people

Dangerous events involving crowds of people are relatively rare. And it is difficult to anticipate where and when such events will occur. Consequently, the data for analysis are limited, and that which are available tend to be very general. Moreover, as mentioned earlier, crowds are affected by very complex processes in which there are many variables at play. Until recently, to model the movement of a single individual was a serious challenge. In addition, there are many phenomena related to the speed at which people move, their density within a specific area, flow, decision-making in dangerous situations, spread of information about the danger and chances of being rescued, as well as spread of emotions and changes in their levels. All these complex processes found in crowds are yet to be studied in detail. There have been determined research efforts in areas such as the psychology of emotion to develop more accurate models for predicting crowd behaviour during emergencies. As part of these efforts, the University of Łódź has attempted to develop a scale to measure the levels of emotions in people [47]. But so far the results have only been presented during Polish Social Psychologist Association (PSPS) meetings [48].

Another challenge on our way to develop accurate models is the complexity and diversity of the human mind, which has an individual-specific way of analysing the reality. And it is difficult to anticipate how a person will respond to a specific emergency. What is also unknown are the characteristics and inclinations of the people who might happen to be present in the area or building used in the analysis for evacuation modelling. A single model fails to provide a complete picture of crowd behaviour and the way it develops under specific circumstances. The only way to enhance the quality of such modelling is to perform a series of modelling operations with different parameters. What seems to be the right tool for the job is the Monte Carlo method [49], which can be useful for constructing the worst-case scenario and cal-

## Obecne problemy w modelowaniu rozprzestrzeniania się emocji w tłumie

Niebezpieczne zdarzenia z udziałem tłumu występują stosunkowo rzadko. Ich lokalizacja oraz czas pojawienia się są trudne do przewidzenia. Stąd danych do analizy jest stosunkowo niewiele, a te dostępne cechuje wysoki stopień ogólności. Ponadto, jak już wcześniej wspomniano, tłum podlega bardzo złożonym procesom, w których pojawia się wiele zmiennych. Odwzorowanie ruchu pojedynczej osoby do niedawna stanowiło poważne wyzwanie. Dodatkowo dochodzi szereg zjawisk związanych z prędkością przemieszczania się ludzi, gęstością ich rozmieszczenia, przepływem, podejmowaniem decyzji w sytuacji zagrożenia, rozprzestrzenianiem się informacji o zagrożeniu i możliwości uratowania, a także rozprzestrzenianiem się emocji oraz zmianą ich intensywności. Skomplikowane procesy występujące w tłumie nie zostały jeszcze dokładnie zbadane. Ciągłe prowadzone są intensywne prace chociażby w zakresie psychologii emocji które mogą przyczynić się do powstania bardziej dokładnych modeli odwzorujących zachowania tłumu podczas zagrożeń. Jednym z takich badań jest próba opracowania skali, za pomocą której można będzie mierzyć poziom emocji u ludzi (prowadzone aktualnie przez Uniwersytet Łódzki [47]). Do tej pory wyniki badań były prezentowane jedynie podczas Zjazdu Polskiego Stowarzyszenia Psychologii Społecznej [48].

Kolejnym wyzwaniem na drodze tworzenia precyzyjnych modeli jest złożoność i różnorodność ludzkiego umysłu, który analizuje rzeczywistość indywidualnie. Trudno więc przewidzieć, jak dana osoba zareaguje na określone zagrożenie. Niewiadomą są również cechy i predyspozycje osób, które mogą znaleźć się na danym terenie, w określonym budynku, dla którego prowadzimy badania przy wykorzystaniu modelu ewakuacji. Zastosowanie pojedynczego modelowania w określonych warunkach nie daje pełnego obrazu możliwości wystąpienia i rozwoju zdarzeń z udziałem tłumu. Jedynym sposobem na podniesienie poziomu modelowania jest wykonanie szeregu modeli z założe-



culating its probability. It is important to note that as a result of limited data on actual events involving crowds, it is difficult to validate and verify the produced scenarios. But this does not change the fact that the need to make people safe during various gatherings requires continuous studying of crowd-related phenomena using the available data and up-to-date knowledge from many fields directly related to evacuation safety. In the domain of psychology, there have been many studies on emotions and the ways they spread, that could be used in the future to model emotional contagion during the evacuation of people in emergency situations.

## Summary

As they gradually get updated, evacuation models offer improved accuracy in reality modelling. By using research data and observation of real-life events involving evacuees, evacuation scenarios can be predicted more accurately. It seems necessary to integrate this with the findings from studies into the psychology of emotion and decision-making. The rapid technological development, and more specifically the advancements made in video recording, has provided more and more data to build enhanced evacuation models. What can also provide valuable insights are CCTV systems that are available virtually everywhere, and the practice of recording events by the participants themselves using mobile phones. The complexity of the processes occurring within crowds can now be analysed by powerful computers. And with continuously growing computing power, we are able to study a number of variables in the processes as complex as evacuation.

## Conclusions

Advancements in psychology have provided new insights for the development of more accurate models of emotional contagion in evacuation situations. In addition, technological development has provided the tools for modelling more and more complex processes. CCTV systems and private video recordings of dangerous incidents involving evacuees provide input data for analysing the processes occurring within crowds during evacuation. The range of those psychological phenomena has not yet been sufficiently mapped by the existing evacuation models, which calls for further research into this area.

niem różnych parametrów. Właściwym narzędziem wydaje się metoda Monte Carlo [49], która może okazać się pomocna przy określeniu najbardziej niekorzystnego scenariusza oraz prawdopodobieństwa jego wystąpienia. Należy dodać, że w związku z małą ilością danych z rzeczywistych zdarzeń z udziałem tłumów proces walidacji i weryfikacji powstałych modeli jest utrudniony. Nie zmienia to faktu, że potrzeba zapewnienia bezpieczeństwa ludziom podczas różnorodnych zgromadzeń wymaga ciągłych badań nad zjawiskiem tłumu przy wykorzystaniu dostępnych danych oraz bieżącej wiedzy z wielu dziedzin bezpośrednio związanych z bezpieczeństwem ewakuacji. W dziedzinie psychologii prowadzonych jest szereg badań dotyczących emocji oraz dróg ich rozprzestrzeniania się, które w przyszłości pozwolą na użycie ich do modelowania zjawiska zarażania emocjonalnego podczas ewakuacji ludzi w sytuacji zagrożenia.

## Podsumowanie

Kolejne wersje modeli ewakuacji pozwalają na coraz dokładniejsze odwzorowywanie rzeczywistości. Wykorzystanie danych z badań i obserwacji rzeczywistych zdarzeń z udziałem ewakuujących się ludzi pozytywnie wpływa na stopień dokładności przewidywania przebiegu tego procesu. Niezbędne wydaje się wykorzystanie prowadzonych badań z zakresu psychologii emocji oraz podejmowania decyzji. Intensywny rozwój technologii informatycznych (dokładnie w obszarze analizy nagrań video) dostarcza coraz więcej danych do budowania kolejnych wersji modeli ewakuacji. Ponadto źródłem cennych informacji jest wszechobecny monitoring oraz zwyczaj nagrywania zdarzeń przez samych uczestników za pomocą telefonów komórkowych. Złożoność procesów zachodzących w tłumie może być obecnie analizowana poprzez komputery o dużej mocy obliczeniowej. Ich ciągle rosnąca moc obliczeniowa pozwala na badanie szeregu zmiennych w złożonych procesach, jakim chociażby jest proces ewakuacji.

## Wnioski

Postęp w badaniach z dziedziny psychologii dostarcza nowych danych do opracowania dokładniejszych modeli zarażania emocjonalnego w sytuacjach ewakuacji. Ponadto rozwój technologii informatycznych daje możliwości modelowania coraz bardziej złożonych procesów. Sieć monitoringu oraz prywatne nagrania wideo niebezpiecznych zdarzeń z udziałem ewakuujących się osób dostarczają danych do analizy procesów występujących w ewakuującym się tłumie. Szereg zjawisk psychologicznych nie jest jeszcze dostatecznie odwzorowywanych w istniejących modelach ewakuacji, co motywuje do prowadzenia dalszych badań.

## Literature / Literatura

- [1] Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r. (Dz. U. 1997 nr 78 poz. 483), <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19970780483> [dostęp: 10.07.2019].
- [2] *The reinforcement sensitivity theory of personality*, J. Corr Philip (ed.), Cambridge University Press, New York 2008.
- [3] PN-ISO 8421-6:1997 Ochrona przeciwpożarowa – Terminologia – Ewakuacja i środki ewakuacji.
- [4] Proulx G., Fahy R.F., *The time delay to start evacuation: review of five case studies*, "Fire Saf. Sci." 1997, 5, 783–794, <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.5-783>.
- [5] 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).
- [6] Tarnowski A., Wizimirski N., Ciszewski J., *Mit paniki-mechanizmy poznawcze, emocjonalne i społeczne reakcji ludzi na zagrożenie pożarem*, „Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka” 2009, 8–11.
- [7] Nguyen V. T., Longin, D., Ho T. V., Gaudou B., *Integration of emotion in evacuation simulation*, International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management in Mediterranean Countries, Springer, Cham 2014, 192-205, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-11818-5\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-11818-5_17).
- [8] Yerkes R. M., Dodson J. D., *The Relationship of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit Formation*, „Journal of Comparative Neurology and Psychology” 1908, 18, <https://doi.org/10.1002/cne.920180503>.
- [9] Teigen K. H., *Yerkes-Dodson: A Law for all Seasons*, "Theory & Psychology" 1994, 4(4), 525–547, <https://doi.org/10.1177/0959354394044004>.
- [10] Imbir K. *Dwa systemy emocji i ich konsekwencje dla procesów poznawczych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2018.
- [11] Wróbel M., *Zarażanie afektywne. O procesie transferu emocji i nastroju między ludźmi*, PWN, 2016.
- [12] LeDoux J., *Mózg emocjonalny*, Media Rodzina, Poznań 2001.
- [13] Plutchik R., *Emotion: A Psychoevolutionary Synthesis*, Harper & Row, New York 1980.
- [14] Kołakowska, A., Landowska, A., Szwoch, M., Szwoch, W., Wróbel, M. R., *Modeling emotions for affect-aware applications*, Information Systems Development and Applications, 2015, 55–69.
- [15] Keating J. P., *The myth of panic*, "Fire Journal" 1982, 76(3), 57–61.
- [16] Johnson R. N., *Panic and the Breakdown of Social Order: Popular Myth, Social Theory, Empirical Evidence*, "Sociological Focus" 1987, 20(3), 171–183, <https://doi.org/10.1080/00380237.1987.10570950>.
- [17] *Longman Dictionary of Psychology and Psychiatry*, R. M. Goldenson (ed.), Longman, New York 1984.
- [18] Mawson A. R., *Understanding Mass Panic and Other Collective Responses to Threat and Disaster*, "Psychiatry" 2005, 68(2), 95–113, <https://doi.org/10.1521/psyc.2005.68.2.95>.
- [19] Säterhed P., Hansson M., Strandlund J., Nilsson T., *Säkerhetsguide för evenemang, Räddningsverket/Rikspolisstyrelsen*, Karlstad 2011.
- [20] Maslow A., *Motywacja i osobowość*, PWN, Warszawa 2018.
- [21] Szynowski R., *Bezpieczeństwo w bieżącej działalności administracji publicznej*, w: Bezpieczeństwo. Teoria-Badania-Praktyka, A. Czupryński, B. Wiśniewski, J. Zboina (red.), CNBOP-PIB, Józefów 2015, 109–120.
- [22] Maciak, T., Barański, M., *Wprowadzenie do komputerowego modelowania zachowania się tłumu. Wybrane aspekty psychologii tłumu*, BITP Vol. 40 Issue 4, 2015, pp. 39–49, <https://doi.org/10.12845/bitp.40.4.2015.3>.
- [23] Still K., *Crowd Safety and Risk Analysis*, <http://www.gkstill.com/ExpertWitness/CrowdDisasters.html> [dostęp: 03.06.2019].
- [24] Rasmus P., Machała W., Ćwietkowska M., Sobów T., *Zjawisko paniki i kontrolowanie reakcji tłumu*, „Anestezjologia i Ratownictwo” 2014, 8(4), 448–452.
- [25] Zheng, X., Zhong, T., Liu, M., *Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches*, "Build. Environ." 2009, 44(3), 437–445, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.04.002>.
- [26] Helbing D., *A fluid-dynamic model for the movement of pedestrians*, "Complex Systems" 1992, 6, 391–415.
- [27] Okazaki S., *A study of pedestrian movement in architectural space, part 1: Pedestrian movement by the application of magnetic models*, "Trans. of A.I.J." 1979, 283, 111–119, [https://doi.org/10.3130/aij-saxx.283.0\\_111](https://doi.org/10.3130/aij-saxx.283.0_111).
- [28] Helbing D., Molnar P., *Social force model for pedestrian dynamics*, "Physical Review E" 1995, 51(5), 4282–4286, <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.51.4282>.
- [29] Kwak J., Jo H.H., Luttinen T., Kosonen I., *Collective dynamics of pedestrians interacting with attractions*, "Physical Review E" 2013, 88(6), 062810, <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.88.062810>.
- [30] Xu S., Duh H.B.L., *A simulation of bonding effects and their impacts on pedestrian dynamics*, *Intelligent Transportation Systems*, "IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems" 2010, 11(1), 153–161, <https://doi.org/10.1109/TITS.2009.2036152>.
- [31] Tadeusiewicz R., *Introduction to intelligent systems*, w: *The Industrial Electronics Handbook, Intelligent systems*, B. M. Milanowski, J. D. Irwin (red.), Taylor & Francis Group, 1.1-1.12, 2011, <https://doi.org/10.1201/9781315218427-1>.
- [32] Barański M., Maciak T., *Model ewakuacji wykorzystujący automaty komórkowe*, BITP Vol. 45, Issue 1, 2017, pp. 68–79, <https://doi.org/10.12845/bitp.45.1.2017.5>.
- [33] Bandini S., Federici M.L., Vizzari G., *Situated cellular agents approach to crowd modeling and simulation*, "Cybernetics and Systems: An International Journal" 2007, 38(7), 729–753, <https://doi.org/10.1080/01969720701534141>.
- [34] Bandini S., Rubagotti F., Vizzari G., Shimura K., *An agent model of pedestrian and group dynamics: experiments on group cohesion*, w: *AI\* IA 2011: Artificial Intelligence Around Man and Beyond*, R. Pirrone, F. Sorbello (red.), Springer, Berlin Heidelberg 2011, 104–116, [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23954-0\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23954-0_12).
- [35] Burstedde C., Klauck K., Schadschneider A., Zittartz J., *Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional Cellular Automaton*, "Physica A" 2001, 295(3), 507–525, [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(01\)00141-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(01)00141-8).
- [36] Wąs J., *Algorytmy modelowania inteligentnych zachowań w zagadnieniach dynamiki pieszych z zastosowaniem niehomogenicznych automatów komórkowych*, Praca doktorska, AGH, 2006, [dok. elektr.] <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy/9768/full9768.pdf> [dostęp: 03.06.2019].
- [37] Dijkstra J., *An agent architecture for visualizing simulated human behavior to support the assessment of design performance*, w: 2008 International Conference on Computational Intelligence for Modeling Control and Automation, 2008, 808–813, <https://doi.org/10.1109/CIMCA.2008.58>.
- [38] Ma J., Lo S.M., Song W.G., Wang W.L., Zhang J., Liao G.X., *Modeling pedestrian space in complex building for efficient pedestrian traffic simulation*, "Automation in Construction" 2013, 30, 25–36, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.032>.

- [39] Schelhorn T., O'Sullivan D., Haklay M., Thurstain-Goodwin M., *STREETS: An Agent-based Pedestrian Model*, wykład na konferencji "Computers in Urban Planning and Urban Management", Venice 1999, <http://discovery.ucl.ac.uk/150308/1/paper9.pdf> [dostęp: 03.06.2019].
- [40] Ronchi E., Kinsey M., *Evacuation models of the future: insights from an online survey of user's experiences and needs*, w: *Advanced Research Workshop: Evacuation and Human Behaviour in Emergency Situations*, Universidad de Cantabria, GIDA, Santander 2011, 145–155.
- [41] Kuligowski E. D., Peacock R. D., Hoskins B. L., *A review of building evacuation models*. Gaithersburg, MD: US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2005, <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.1471>.
- [42] Bosse T., Duell, R., Memon, Z. A., Treur, J., Van Der Wal, C. N., *Multi-Agent Model For Mutual Absorption Of Emotions*, w: *Proceedings of the 23rd European Conference on Modelling and Simulation*, European Council on Modeling and Simulation, 2009, 212–218, <https://doi.org/10.7148/2009-0212-0218>.
- [43] Hoogendoorn M., Treur J., Van Der Wal C. N., Van Wissen A., *Modeling the interplay of emotions, beliefs and intentions within collective decision making based on insights from social neuroscience*, w: *International Conference on Neural Information Processing*, Springer, Berlin – Heidelberg 2010, 196–206, [https://doi.org/10.1007/978-3-642-17537-4\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-642-17537-4_25).
- [44] Durupinar F., *From audiences to mobs: Crowd simulation with psychological factors*, praca doktorska, Bilkent University, 2010.
- [45] Tsai, J., Fridman, N., Bowering, E., Brown, M., Epstein, S., Kaminka, G., Taylor, M. E., *ESCAPES: evacuation simulation with children, authorities, parents, emotions, and social comparison*, w: *The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, Volume 2, 2011, 457–464.
- [46] *The five-factor model of personality: Theoretical perspectives*, Wiggins J. S. (red.) Guilford Press, New York – London 1996.
- [47] Szubański K., *Psychologowie opracowują nowe „narzędzie” do pomiaru radości, smutku, złości i strachu*, <http://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C28480%2Cpsychologowie-opracowuja-nowe-narzedzie-do-pomiaru-radosci-smutku-zlosci-i-strachu> [dostęp: 03.06.2019].
- [48] Wróbel M., Troszczyńska A., Pacholczyk B., Bijoch R. W., Mandrysz M., *W stronę bardziej jednolitego pomiaru radości, smutku, złości i strachu: Skala Czterech Specyficznych Emocji*, Zjazd Polskiego Stowarzyszenia Psychologii Społecznej, 2018.
- [49] Metropolis N., Ulam S., *The Monte Carlo Method*, "Journal of the American Statistical Association" 1949, 944(247), 335–341, <https://doi.org/10.2307/2280232>.

**MARIUSZ BARAŃSKI, M.SC. ENG.** – graduate of the Faculty of Fire Safety Engineering, Main School of Fire Service, member of the State Fire Service – senior specialist at the Testing and Reconnaissance Department, State Fire Service in Wrocław. Currently, a PhD student at the Faculty of Process and Environmental Engineering, Łódź University of Technology. Author of papers on evacuation safety. His scientific interests include the numerical modelling of evacuation processes that takes into account threat-specific emotional contagion effects on evacuees.

**MGR INŻ. MARIUSZ BARAŃSKI** – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarnej, funkcjonariusz Państwowej Straży Pożarnej – starszy specjalista w Wydziale Kontrolno-Rozpoznawczym Komendy Wojewódzkiej Państwowej Straży Pożarnej we Wrocławiu. Obecnie doktorant na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej. Autor artykułów z zakresu bezpieczeństwa ewakuacji. Jako przedmiot swoich zainteresowań naukowych wybrał modelowanie numeryczne procesów ewakuacji z uwzględnieniem efektów zarażania emocjonalnego wśród jej uczestników uzależnionych od występujących zagrożeń.