

Karolina Szulc^{a)*}, Marcin Cisek^{b)}, Małgorzata Król^{a)}

^{a)} Department of Heating, Ventilation and Dust Removal Technology, Faculty of Energy And Environmental Engineering, Silesian University of Technology / Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylania, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Śląska

^{b)} PROTECT T. Cisek i Wsp. Sp. J.

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: karolina.szulc@polsl.pl

Evaluation of the Evacuation of People with Disabilities, Using an Evacuation Chair. Research Report

Badanie ewakuacji osób z niepełnosprawnościami, z użyciem krzesła ewakuacyjnego. Raport z badań

ABSTRACT

Aim: The article presents the results of research on the evacuation process of people from the building of the Faculty of Environmental and Power Engineering of the Silesian University of Technology, including the evacuation of people with a temporary limitation of independent movement, who are evacuated using an evacuation chair. The travel times and the time needed to prepare an evacuation chair were examined. Based on the research, the average speeds of movement of the studied populations were determined.

Project and methods: Twelve evacuation experiments were carried out in three different user populations of the building. The experiments included the analysis of the times of movement of people without disabilities; people with temporary disabilities who move independently on crutches and a population in which there was one person with temporary reduced mobility, who was evacuated using an evacuation chair. Six of the experiments concerned the evacuation from the fourth floor of the building, three of which were proceeded through the main staircase and the remaining three through the side staircase. The next six experiments were carried out from the second floor, also split into two different staircases. Each experiment ended when all people reached the meeting point near the building.

Results: The lowest values of the average total travel time were recorded for the population without disabilities. The shortest average travel time was 83 seconds and concerned the evacuation of the population without disabilities from the second floor, evacuating through a side staircase (K1). In all the experiments, the person on crutches was the slowest to move, for whom the evacuation times were the longest. The maximum average time for a person on crutches was 342 seconds to evacuate from the fourth floor via the main staircase. Evacuation with an emergency chair improved the process by 10.47% for the evacuation from the second floor using K1 staircase, and for the evacuation with this staircase from the 4th floor by 28.71%. For the main staircase (K2), the experiments conducted from the second floor using an evacuation chair took 40.02% less time than an independent evacuation of a person with crutches and 47.07% less time when evacuating from the fourth floor.

Conclusions: Interpreting the results obtained in the experiments, it can be stated that the evacuation using an evacuation chair improved the evacuation process compared to the experiments in which a person temporarily disabled was walking independently on crutches. People without disabilities evacuate the fastest. The analysis of the time of travel made it possible to determine the average speed of movement of the analyzed populations, which can be used as a model value to perform an evacuation simulation.

Keywords: evacuation, evacuation time, people with disabilities, evacuation chair

Type of article: short scientific report

Received: 29.09.2022; Reviewed: 10.10.2022; Accepted: 19.10.2022;

Authors' ORCID IDs: K. Szulc – 0000-0002-2160-4431; M. Cisek – 0000-0003-3828-2691; M. Król – 0000-0003-0645-4815;

Percentage contribution: K. Szulc – 75%; M. Cisek – 15%; M. Król – 10%;

Please cite as: SFT Vol. 60 Issue 2, 2022, pp. 42–59, <https://doi.org/10.12845/sft.60.2.2022.2>;

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

ABSTRAKT

Cel: W artykule przedstawiono wyniki badań czasów ewakuacji osób z budynku Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej z uwzględnieniem ewakuacji osoby o czasowym ograniczeniu zdolności samodzielnego poruszania się, ewakuowanej za pomocą krzesła ewakuacyjnego. Zbadano czasy przemieszczania się oraz czas potrzebny na przygotowanie krzesła ewakuacyjnego. Na podstawie badań wyznaczono średnie prędkości przemieszczania się badanych populacji.

Projekt i metody: Przeprowadzono dwanaście eksperymentów ewakuacyjnych na trzech różnych populacjach użytkowników budynku. Eksperymenty obejmowały analizę czasów przemieszczania się osób pełnosprawnych, osoby z czasową niepełnosprawnością poruszającej się samodzielnie o kulach oraz populacji, w której znajdowała się jedna osoba z czasowym ograniczeniem zdolności poruszania się, którą ewakuowano za pomocą krzesła ewakuacyjnego. Sześć eksperymentów dotyczyło ewakuacji z IV piętra budynku, z czego trzy przebiegały główną klatką schodową, a pozostałe trzy – boczną klatką schodową. Kolejne sześć eksperymentów prowadzono z II piętra, również z podziałem na dwie różne klatki schodowe. Każdy eksperyment kończył się w momencie dotarcia wszystkich osób na miejsce zbiórki zlokalizowanej w pobliżu budynku.

Wyniki: Najniższe wartości średniego całkowitego czasu przemieszczania się odnotowano dla populacji osób pełnosprawnych. Najkrótszy średni czas przemieszczania się wyniósł 83 sekundy i dotyczył ewakuacji populacji osób pełnosprawnych z II piętra, ewakuujących się boczną klatką schodową (K1). We wszystkich eksperymentach najwolniej poruszała się osoba o kulach, dla której czasy ewakuacji były najdłuższe. Maksymalny średni czas osoby poruszającej się o kulach wyniósł 342 sekundy dla ewakuacji z IV piętra główną klatką schodową. Ewakuacja za pomocą krzesła ewakuacyjnego usprawniła proces o 10,47% dla ewakuacji z II piętra klatką K1, a dla ewakuacji tą klatką z IV piętra – o 28,71%. Dla głównej klatki schodowej (K2) eksperymenty prowadzone z II piętra z użyciem krzesła ewakuacyjnego przebiegały w czasie o 40,02% krótszym niż samodzielna ewakuacja osoby o kulach oraz w czasie o 47,07% krótszym przy ewakuacji z IV piętra.

Wnioski: Interpretując otrzymane wyniki, można stwierdzić, że ewakuacja z użyciem krzesła ewakuacyjnego usprawniła proces ewakuacji w stosunku do eksperymentów, w których osoba o czasowej niezdolności poruszała się samodzielnie o kulach. Najszybciej ewakuują się oczywiście osoby pełnosprawne. Analiza czasu przemieszczania się umożliwiła wyznaczenie średniej prędkości poruszania się analizowanych populacji, która może posłużyć jako wartość modelowa do wykonania symulacji ewakuacji.

Słowa kluczowe: ewakuacja, czas ewakuacji, osoby z niepełnosprawnościami, krzesło ewakuacyjne

Typ artykułu: wstępny raport z badań

Przyjęty: 29.09.2022; **Zrecenzowany:** 10.10.2022; **Zaakceptowany:** 19.10.2022;

Identyfikatory ORCID autorów: K. Szulc – 0000-0002-2160-4431; M. Cisek – 0000-0003-3828-2691; M. Król – 0000-0003-0645-4815;

Procentowy wkład merytoryczny: K. Szulc – 75%; M. Cisek – 15%; M. Król – 10%;

Proszę cytować: SFT Vol. 60 Issue 2, 2022, pp. 42–59, <https://doi.org/10.12845/sft.60.2.2022.2>;

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

Introduction

In Poland and many other countries, there is a legal requirement for employers, building owners, and managers to ensure safe evacuation from a building in the event of a fire. This obligation results, among others, from the Polish Building Law [1], which defines the requirements for the design and construction of buildings that provide appropriate conditions for people with disabilities and the elderly; the Act on fire protection [2], the Act on ensuring accessibility to people with special needs [3], as well as in regulations [4–5].

One of the major challenges faced by the property owners and emergency services is the evacuation of people with reduced mobility, especially when it is necessary to climb stairs. Many public buildings do not have adequate solutions to provide people with special needs – people with disabilities, the elderly, injured, and pregnant women – with convenient evacuation conditions. One of the solutions to this problem is to equip the building with evacuation chairs.

The aspect of safe evacuation of people with disabilities is extremely important. People with reduced mobility tend to move more slowly. In literature, we can find the results of research devoted to the analysis of the speed of movement of people with various disabilities. In 1999, Boyce et al. [6] considered the issue of speed of movement of people with disabilities along horizontal sections and stairs. The research included people with motor

Wprowadzenie

W Polsce oraz w wielu innych krajach istnieje prawny wymóg dla pracodawców, właścicieli i zarządców budynków, aby zapewnić bezpieczną ewakuację z budynku w przypadku wystąpienia pożaru. Obowiązek ten wynika m.in. z ustawy o prawie budowlanym [1] (określającej wymagania w zakresie projektowania oraz budowy obiektów budowlanych, które będą zapewniać odpowiednie warunki dla osób z niepełnosprawnościami oraz osób starszych), ustawy o ochronie przeciwpożarowej [2], ustawie o zapewnianiu dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami [3], a także rozporządzeń Ministra Rozwoju oraz Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji [4–5].

Jednym z poważniejszych wyzwań, przed którym stają właściciele obiektów oraz służby ratownicze, jest ewakuacja osób o ograniczonej zdolności poruszania się, zwłaszcza w przypadku poruszania się po schodach. Wiele budynków użyteczności publicznej nie posiada odpowiednich warunków zapewniających osobom z potrzebami – osobom z niepełnosprawnościami, osobom starszym, rannym oraz kobietom w ciąży – dogodnych warunków ewakuacji. Jednym z rozwiązań tego problemu jest wyposażenie budynku w krzesła ewakuacyjne.

Aspekt bezpiecznej ewakuacji osób z niepełnosprawnościami jest niezwykle ważny. W literaturze możemy znaleźć wyniki badań poświęconych analizie prędkości poruszania się tej grupy osób. W 1999 roku Boyce i in. [6] rozważyli kwestię

disabilities who move independently and with the use of orthopedic crutches, walking sticks, or walkers, as well as people in wheelchairs.

The authors Christensen et al. in 2006 [7] published a literature review on the research on the speed of movement of people with disabilities. In the work of the authors Shi et al. from 2009 [8], there is also a comparison of the speed of movement of people with disabilities depending on various factors. In turn, the authors of Jiang et al. in 2012 [9] conducted research on the evacuation from a metro station in Beijing in which people with disabilities, assisted or on crutches, participated. In the work of Kuligowski et al. from 2013 and 2015 [10–11] we can find a summary of the results of research on the speed of evacuation of people with disabilities and the elderly. A summary of the speed of movement of people with disabilities who evacuate on their own or with help can be found in the Hashemi publication from 2018 [12].

In 2015, Hunt et al. [13] carried out studies on the evacuation of people with reduced mobility from a hospital. The results of the speed of movement of the evacuees using such transport devices as stretchers, evacuation chairs, rescue sheets and a transport chair were obtained.

Lavender et al. in 2014 [14] in their work checked, inter alia, the speed of descending stairs during the evacuation of persons with reduced mobility using transport devices. Manual transport of a disabled person and transport using a fabric chair and two different transport chairs were considered. Speed differences have been observed for different types of transport equipment.

This article presents the results of research on evacuation with the use of an evacuation chair to transport a person with a temporary limitation of the ability to move independently. The aim of the research was to check the evacuation time of a group of students from a university building in the event of an evacuation involving a person with temporary limited mobility, who is evacuated using an evacuation chair. The research analyzed the time of moving around and the time needed to prepare an evacuation chair for use.

The evacuation chair used in the research was the FALCON model by EnSafe (see Figure 1). It is a chair designed to transport people in a seated position up the stairs and on level ground. The chair has an aluminum and steel structure, which allows transport with a maximum load of up to 200 kg. Four wheels allow transport on flat surfaces, and stair tracks with a braking system allow transport on stairs. Additional handles allow to transport the chair and its load up the stairs.

prędkości poruszania się osób z ograniczoną mobilnością po odcinkach poziomych oraz po schodach. W badaniach uwzględniono osoby z niepełnosprawnością ruchową, które poruszają się samodzielnie, oraz z wykorzystaniem kul ortopedycznych, lasek lub chodzików, a także osoby przemieszczające się na wózkach inwalidzkich.

Autorzy Christensen i in. w 2006 roku [7] opublikowali przegląd literatury dotyczący badań prędkości poruszania się osób z niepełnosprawnościami. W pracy autorów Shi i in. z 2009 roku [8] również znajdziemy zestawienie prędkości poruszania się tej grupy osób w zależności od różnych czynników. Z kolei autorzy Jiang i in. w 2012 roku [9] przeprowadzili badania dotyczące ewakuacji ze stacji metra w Pekinie, w której brały udział osoby poruszające się z pomocą asysty lub o kulach. W pracach Kuligowski i in. z lat 2013 oraz 2015 [10–11] znajdziemy zestawienie wyników z badań, dotyczących szybkości ewakuacji osób z niepełnosprawnościami oraz osób starszych. Podobne zestawienie, dotyczące poruszania się osób z niepełnosprawnościami ewakuujących się samodzielnie lub z pomocą, znajdziemy także w publikacji Hashemi z 2018 roku [12].

W 2015 roku Hunt i in. [13] przeprowadzili badania dotyczące ewakuacji ze szpitala osób z ograniczoną mobilnością. Otrzymano wyniki prędkości poruszania się osób ewakuowanych za pomocą takich urządzeń transportowych, jak nosze, krzesło ewakuacyjne, płachty ratownicze czy krzesło transportowe.

Lavender i in. w 2014 roku [14] w swojej pracy sprawdzili m.in. prędkość zejścia po schodach podczas ewakuacji osób z ograniczoną mobilnością z użyciem urządzeń transportowych. Rozważono transport ręczny osoby z niepełnosprawnością oraz transport z użyciem krzesła materiałowego, a także dwóch różnych krzeseł transportowych. Odnotowano różnice w prędkości dla różnych typów urządzeń transportowych.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących ewakuacji z wykorzystaniem krzesła ewakuacyjnego do transportu osoby o czasowym ograniczeniu zdolności samodzielnego poruszania się. Celem badań było sprawdzenie, jaki jest czas ewakuacji z budynku uczelni wyższej grupy studentów w przypadku ewakuacji, w której udział bierze osoba o czasowym ograniczeniu zdolności poruszania, która jest ewakuowana za pomocą krzesła ewakuacyjnego. W badaniach analizowano czas przemieszczania się oraz czas potrzebny na przygotowanie krzesła ewakuacyjnego do użycia.

Krzesło ewakuacyjne wykorzystane w badaniach to model FALCON firmy EnSafe (zob. ryc. 1). Jest to krzesło zaprojektowane w sposób umożliwiający transport osób w pozycji siedzącej po schodach i na poziomym podłożu. Sprzęt posiada aluminiowo-stalową konstrukcję, umożliwia transport o maksymalnym obciążeniu do 200 kg. Cztery koła ułatwiają transport po płaskich powierzchniach, a prowadnice z systemem hamowania – transport po schodach. Dodatkowe uchwyty pozwalają transportować krzesło wraz z obciążeniem w górę schodów.



Figure 1. Evacuation chair used in the research
Rycina 1. Krzesło ewakuacyjne zastosowane w badaniach
Source / Źródło: Ensafte Sp. z o. o.

Characteristics of the building

The research was carried out in the building of the Faculty of Environmental and Power Engineering of the Silesian University of Technology. This building is located in Gliwice at ul. Konarskiego 18. It is a six-story, free-standing building with a basement. The building was made of reinforced concrete frame technology, in a column-slab-beam system. The building is classified as medium-high, its height is 23.93 m. Usable floors include a basement, ground floor, and floors I–V. There is an unused attic in the building. The main entrance to the building is located on the south-west side.

The facility has an educational and partly administrative function. There are technical and storage rooms, as well as auxiliary and workshop rooms in the basement. On the ground floor and floors I–V there are offices, laboratories, lecture halls where up to 50 people can stay.

Fire hazardous materials are not expected to be present in the building. The building contains materials that are typical equipment for classrooms and administrative rooms. The fire load density for the technical backup facilities and the basement was determined to be up to 500 MJ/m².

Evacuation from all fire zones where people stay on individual floors of the building is carried out through evacuation corridors and staircases treated as separate fire zones. During the research, evacuation was carried out from the lecture room marked in Figure 2 as START, heading towards the staircases, and then outside the building. Depending on the chosen evacuation scenario, the evacuation took place through a side staircase (K1), or the main staircase (K2) located in the central part of the building. Evacuation scenarios are described in section 4 (see Table 1). The floor diagram with the escape routes is shown in Figure 2. The exact characteristics of staircases with dimensions are given later in the report.

Charakterystyka obiektu

Badania wykonano w budynku Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej, zlokalizowanym w Gliwicach przy ul. Konarskiego 18. Jest to obiekt wolnostojący, sześciokondygnacyjny, podpiwniczony, wykonany w technologii szkieletowej, żelbetowej, w układzie słupowo-płytowo-belkowym. Budynek zaklasyfikowano do obiektów średniowysokich, jego wysokość wynosi 23,93 m. Kondygnacje użytkowe obejmują piwnicę, parter oraz piętra I–V. W budynku znajduje się poddasze nieużytkowe. Wejście główne do budynku znajduje się od strony południowo-zachodniej.

Obiekt pełni funkcję dydaktyczną oraz częściowo administracyjną. W piwnicy znajdują się pomieszczenia techniczno-magazynowe oraz pomocniczo-warsztatowe. Na parterze oraz piętrach I–V zlokalizowano pomieszczenia biurowe, laboratoryjne, sale wykładowe ćwiczeniowe z możliwością pobytu w większości pomieszczeń do 50 osób.

W budynku nie przewiduje się występowania materiałów pożarowo niebezpiecznych. Znajdują się tam materiały stanowiące typowe wyposażenie sal dydaktycznych oraz pomieszczeń administracyjnych. W części dydaktyczno-administracyjnej budynek zakwalifikowano do kategorii zagrożenia ludzi ZL III, piwnica i poddasze – do kategorii Przemysłowo-Magazynowej (PM). Gęstość obciążenia ogniowego pomieszczeń zaplecza technicznego oraz piwnicy została określona do 500 MJ/m².

Evakuacja ze wszystkich stref pożarowych, gdzie przebywają ludzie na poszczególnych kondygnacjach budynku, prowadzona jest poprzez korytarze ewakuacyjne oraz klatki schodowe traktowane jako odrębne strefy pożarowe. Podczas badań ewakuację prowadzono z sali wykładowej oznaczonej na rycinie 2 jako START, kierując się ku klatkom schodowym, a następnie na zewnątrz budynku. W zależności od obranego scenariusza ewakuacji, przebiegała ona boczną klatką schodową (K1)

lub główną klatką schodową (K2) znajdującą się w centralnej części budynku. Scenariusze ewakuacji opisano w punkcie 4 (zob. tabela 1). Schemat piętra wraz z drogami ewakuacyjnymi przedstawiono na rycinie 2. Dokładną charakterystykę klatek schodowych wraz z wymiarami podano w dalszej części raportu.

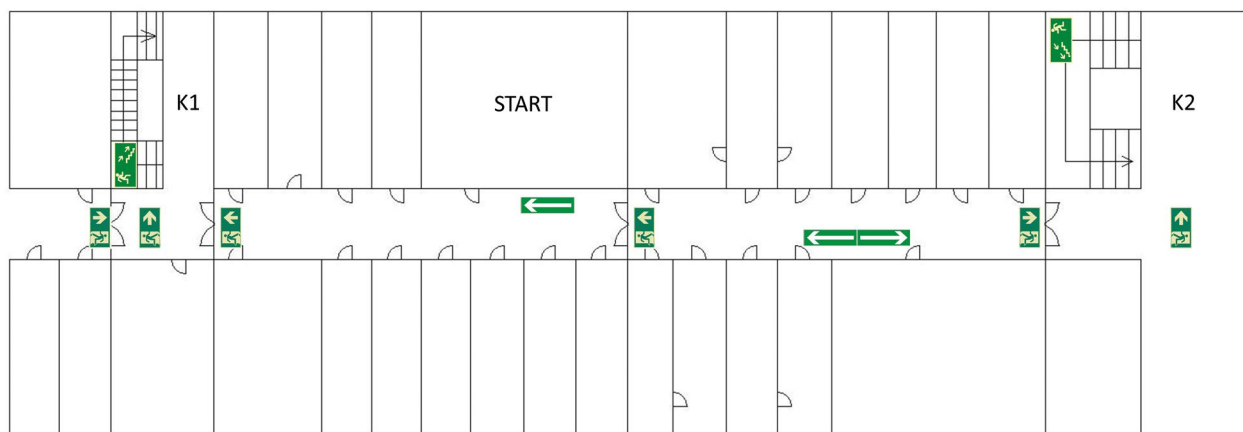


Figure 2. Diagram of the floor with escape routes
Rycina 2. Schemat piętra z drogami ewakuacyjnymi

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Staircases K1 and K2 constitute separate fire zones separated by fire separation walls with a fire resistance of 120 minutes (REI 120) with a door with a fire resistance of 60 minutes (EIS 60). According to the regulations, fire-fighting devices have been designed in a building to detect and fight fires and limit its effects, as well as for evacuation. K2 staircase is equipped with a smoke prevention system and overpressure smoke protection devices, while K1 staircase is equipped with a smoke extraction system with a smoke damper and a compensation air supply opening, located in the basement. The emergency exit from staircase K1 is located in the basement, and from staircase K2 – on the ground floor. The emergency doors on K1 staircase have a passage size of 1.5 m, and they are double-leaf doors. There is the possibility of evacuation from K2 staircase through two double-leaf doors with a passage size of 1.8 m.

The endpoints of the evacuation were the assembly points next to the building, located on the lawn behind and next to the parking lot. The evacuation through K2 staircase led to the point shown in Figure 3, while the end of the evacuation through K1 staircase took place at the point presented in Figure 4.

Klatki schodowe K1 i K2 stanowią odrębne strefy pożarowe wydzielone ścianami oddzielenia pożarowego o odporności ogniowej 120 minut (REI 120) z drzwiami o odporności ogniowej 60 minut (EIS 60). W budynku zaprojektowano – zgodnie z przepisami – urządzenia przeciwpożarowe służące do wykrywania i zwalczania pożaru oraz ograniczania jego skutków, a także służące do ewakuacji. Klatka schodowa K2 wyposażona jest w system zapobiegania zadymieniu, urządzenia nadciśnieniowej ochrony przed zadymieniem, natomiast klatka schodowa K1 wyposażona jest w system usuwania dymu z klapą dymową oraz otworem nawiewu powietrza kompensacyjnego, zlokalizowanym w piwnicy. Wyjście ewakuacyjne z klatki K1 znajduje się w piwnicy, a z klatki schodowej K2 – na poziomie parteru. Drzwi ewakuacyjne w klatce K1 posiadają wymiar w przejściu 1,5 m, są to drzwi dwuskrzydłowe. Z klatki schodowej K2 istnieje możliwość ewakuacji przez dwoje drzwi dwuskrzydłowych o wymiarze w przejściu 1,8 m.

Punktami końcowymi ewakuacji były miejsca zbiórki obok budynku, zlokalizowane na trawniku za i obok parkingu. Ewakuacja klatką schodową K2 prowadziła do punktu przedstawionego na rycinie 3, natomiast koniec ewakuacji klatką schodową K1 znajdował się w punkcie przedstawionym na rycinie 4.



Figure 3. Assembly point in front of the Faculty building
Rycina 3. Miejsce zbiórki przed budynkiem Wydziału

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.



Figure 4. Assembly point behind the Faculty Building
Rycina 4. Miejsce zbiórki za budynkiem Wydziału

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

Characteristics of staircases

Both K1 and K2 staircase constitute separate fire zones. Both staircases are made of the same materials. They differ in construction. K1 staircase (see Figure 5) is characterized by a long landing on the first floor and two small landings, which allow the staircase to change direction. The dimensions of the individual elements are shown in Figure 6.



Figure 5. Staircase K1
Rycina 5. Klatka schodowa K1

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

Charakterystyka klatek schodowych

Zarówno klatka K1, jak i K2 stanowią odrębne strefy pożarowe. Obie klatki schodowe zostały wykonane z takich samych materiałów, różnią się jednak budową. Klatka schodowa K1 (zob. ryc. 5) charakteryzuje się długim spocznikiem znajdującym się na piętrze oraz dwoma małymi spocznikami, pozwalającymi na zmianę kierunku biegu schodów. Wymiary poszczególnych elementów przedstawiono na rycinie 6.

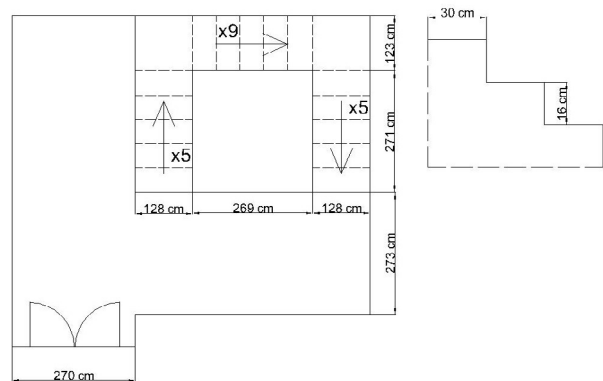


Figure 6. Staircase diagram K1, 2nd floor
Rycina 6. Schemat klatki schodowej K1, II piętro

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

On the ground floor, the layout of the staircase is slightly different, as shown in Figure 7 and Figure 8.



Figure 7. Staircase K1, ground floor
Rycina 7. Klatka schodowa K1, parter
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

Na parterze, układ klatki schodowej jest nieco inny, co pokazują ryciny 7 i 8.

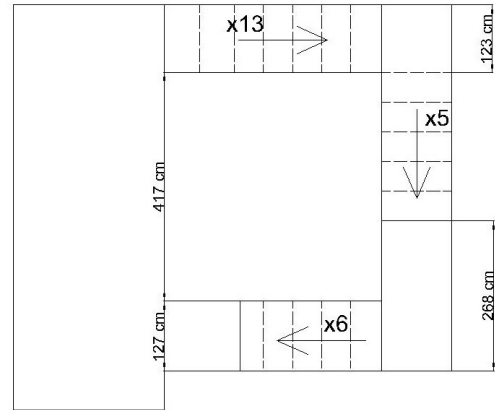


Figure 8. Scheme of the staircase K1, ground floor
Rycina 8. Schemat klatki schodowej K1, parter
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

Compared to K1 staircase, K2 staircase (see Figure 9) is wider and has two long landings. One is on the floor level and the other between the floors, allowing the stairs to change direction. The staircase diagram with dimensions is shown in Figure 10.



Figure 9. Staircase K2
Rycina 9. Klatka schodowa K2
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

W porównaniu do klatki schodowej K1, klatka K2 (zob. ryc. 9) jest szersza i posiada dwa długie spoczniki. Jeden na poziomie piętra oraz drugi pomiędzy piętrami, umożliwiającą zmianę kierunku biegu schodów. Schemat klatki wraz z wymiarami przedstawiono na rycinie 10.

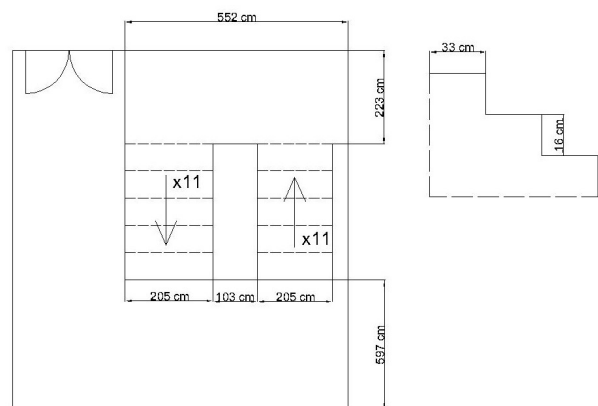


Figure 10. Scheme of the K2 staircase, second floor
Rycina 10. Schemat klatki schodowej K2, II piętro
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

Similarly, in this case, K2 staircase at the ground floor level changes its layout, as shown in Figure 11 and Figure 12.

Podobnie w tym wypadku, klatka schodowa K2 na poziomie parteru zmienia swój układ, co pokazują ryciny 11 i 12.



Figure 11. Staircase K2, ground floor
Rycina 11. Klatka schodowa K2, parter
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

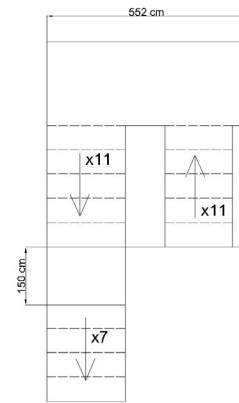


Figure 12. K2 staircase diagram, ground floor
Rycina 12. Schemat klatki schodowej K2, parter
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

Research assumptions

The aim of the research was to check the evacuation speed of various populations in the event of an evacuation involving a person with temporary limited mobility, who is evacuated using an evacuation chair. The research analyzed the time of movement (t_{mov}), which is one of the components of the evacuation time (see Figure 13). In case of scenarios that included evacuation with an evacuation chair, i.e. S3, S4, S9, S10 (see Table 1), the time needed to prepare the chair, the time to get a person with a disability on the evacuation chair and fastening the seat belts were also measured.

Założenia do badań

Celem badań było sprawdzenie, ile wyniesie czas ewakuacji z budynku w przypadku ewakuacji z udziałem osoby o czasowym ograniczeniu zdolności poruszania, która jest ewakuowana za pomocą krzesła ewakuacyjnego. W badaniach analizowano czas przemieszczania się (t_{przej}), który stanowi jedną ze składowych czasu ewakuacji (zob. ryc. 13). W przypadku scenariuszy uwzględniających ewakuację z krzesłem ewakuacyjnym, tj. S3, S4, S9, S10 (zob. tabela 1), zmierzono również czas potrzebny na przygotowanie krzesła, czas wsiadania osoby z niepełnosprawnością na krzesło ewakuacyjne oraz zapinania pasów.

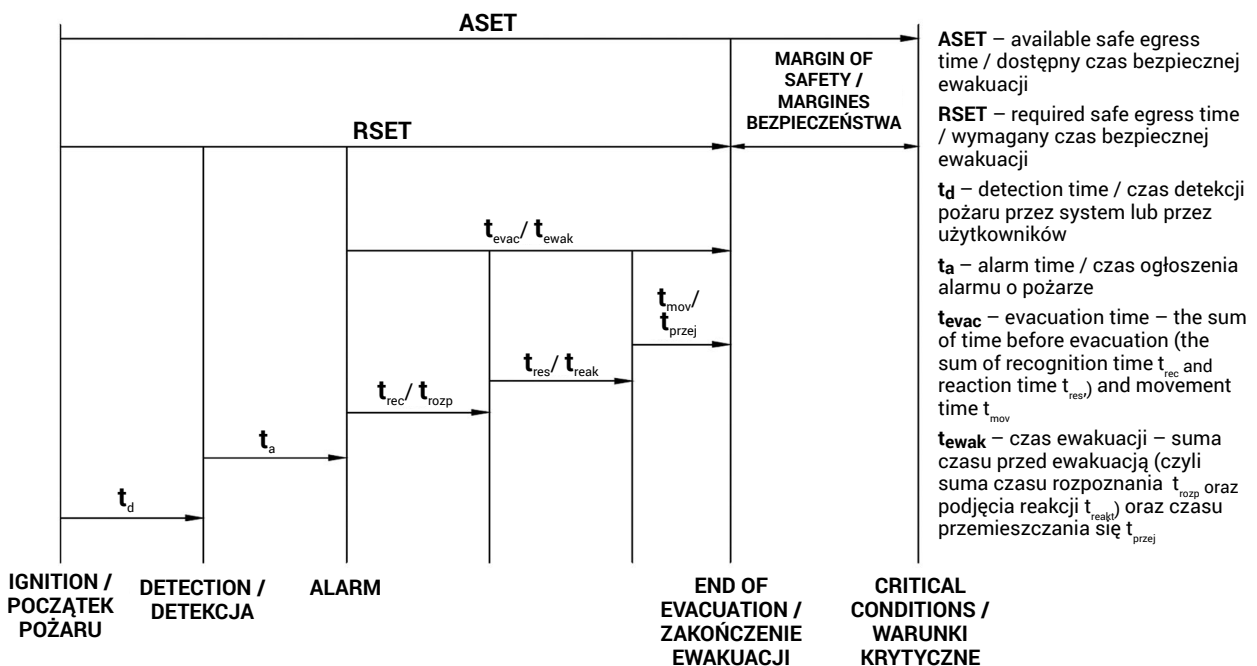


Figure 13. Components of evacuation time
Rycina 13. Składowe czasu ewakuacji
Source / Źródło: Own study based on [15]. / Opracowanie własne na podstawie [15].

Evacuation scenarios were analyzed, considering the evacuation of the population (P) without disabilities, the evacuation of the population with a person with disabilities who was evacuated using an evacuation chair (KE) and the evacuation of a person with disability using crutches (K). Evacuation scenarios are presented in Table 1.

The population of people (P) without disabilities was represented by 7 people (4 women and 3 men) in the age range from 21 to 27 years and BMI from 19.03 to 32.1. Almost all (85.7% of affirmative responses) assessed their physical condition as "good". All participants in the study were volunteers. The KE population consisted of the same people as in the P population and it was assumed that the study involved one person with a disability with a temporary limitation in mobility. A person with a disability was represented by a woman aged 23 with a BMI of 21.05 who sits down on her own and gets off the evacuation chair. The evacuation chair in all trials (KE) was operated by two men aged 22 with a BMI of 20.8 and 32.1.

The K population was a person on crutches, represented by a woman aged 50, with a BMI of 20.6, which evaluated her physical condition as good.

In each scenario, the START evacuation began at the location marked in Figure 2. The evacuation through K1 staircase followed the evacuation direction, while K2 staircase – in the opposite direction. In each scenario, the fire doors that separate the individual fire zones were closed. In case of evacuation of KE and K populations, the door was opened by people who assisted in the evacuation (the person transported in the evacuation chair and moving on crutches did not open the door on their own).

The study was carried out for three days with rest periods between trials to minimize the impact of participant fatigue on the measurement results.

The beginning of the evacuation was the moment of starting conscious movement towards the emergency exits. The evacuation was finished when the safe place, the assembly point, was reached by all the evacuees. Time was measured with a sports stopwatch. Each evacuation scenario was supported by five evacuation attempts (for P and KE populations) to verify the repeatability of the results. The exceptions were the scenarios for population K, in this case three evacuation attempts were carried out.

The distance traveled and the lengths of individual road sections were also measured, due to which the average speeds of people's movement during evacuation were calculated. The measurement points were located at places where traffic changed from horizontal to vertical. The individual measurements were made at the following points:

- at the end of the corridor – the beginning of the staircase,
- at the end of the staircase,
- at the exit of the building,
- at the assembly point.

Przeanalizowano scenariusze ewakuacyjne uwzględniające ewakuację populacji osób w pełni sprawnych (P), ewakuację populacji, w której znajdowała się osoba z niepełnosprawnością, ewakuowana za pomocą krzesła ewakuacyjnego (KE) oraz ewakuację osoby z niepełnosprawnością poruszającej się samodzielnie o kulach (K). Scenariusze ewakuacji przedstawiono w tabeli 1.

Populacja osób sprawnych (P) reprezentowana była przez 7 osób (4 kobiety i 3 mężczyzn) w przedziale wiekowym od 21 do 27 lat oraz BMI od 19,03 do 32,1. Niemal wszyscy (85,7% twierdzących odpowiedzi) ocenili swoją kondycję fizyczną jako „dobrą”. Wszystkie osoby biorące udział w badaniu były ochotnikami. W skład populacji KE wchodziły te same osoby co w populacji P oraz założono, że w badaniu bierze udział jedna osoba z niepełnosprawnością o czasowym ograniczeniu zdolności poruszania się. Osoba z niepełnosprawnością reprezentowana była przez kobietę w wieku 23 lat o BMI 21,05, która samodzielnie siada oraz zsiada z krzesła ewakuacyjnego. Krzesło ewakuacyjne we wszystkich próbach (KE) było obsługiwane przez dwóch mężczyzn w wieku 22 lat o BMI 20,8 i 32,1.

Populację K stanowiła osoba poruszająca się o kulach, reprezentowana przez kobietę w wieku 50 lat, o BMI 20,6, oceniającą swoją kondycję fizyczną jako dobrą.

W każdym scenariuszu ewakuacja rozpoczynała się w miejscu oznaczonym na rycinie 2 jako START. Ewakuacja klatką K1 przebiegała zgodnie z kierunkiem ewakuacji, natomiast klatką schodową K2 – w przeciwnym. W każdym scenariuszu drzwi przeciwpożarowe oddzielające poszczególne strefy pożarowe były zamknięte. W przypadku ewakuacji populacji KE oraz K, drzwi były otwierane przez osoby pomagające w ewakuacji (osoba transportowana na krzesle ewakuacyjnym oraz poruszająca o kulach nie otwierały drzwi samodzielnie).


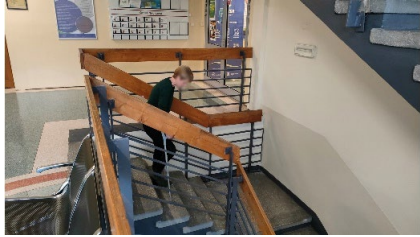

Badania prowadzono przez trzy dni, uwzględniając przerwę na odpoczynek między próbami, aby zminimalizować wpływ zmęczenia uczestników badania na wyniki pomiarów.

Za punkt początkowy ewakuacji przyjęto moment rozpoczęcia świadomego ruchu w kierunku wyjść ewakuacyjnych. Koniec ewakuacji następował w momencie dotarcia do punktu bezpiecznego – miejsca zbiórki. Pomiar czasu wykonano sekundomierzami sportowymi. Każdy scenariusz ewakuacji poparto pięcioma próbami ewakuacyjnymi (dla populacji P oraz KE), aby sprawdzić powtarzalność wyników. Wyjątek stanowiły scenariusze dotyczące populacji K – w tym wypadku przeprowadzono trzy próby ewakuacyjne.

Zmierzone również pokonany dystans oraz długości poszczególnych odcinków drogi, dzięki czemu obliczono średnie prędkości poruszania się osób podczas ewakuacji. Punkty pomiarowe zlokalizowano w miejscach, w których następowała zmiana ruchu z poziomego na pionowy. Poszczególne pomiary wykonywane były w następujących punktach:

- na końcu korytarza – początku klatki schodowej,
- na końcu klatki schodowej,
- przy wyjściu z budynku,
- na miejscu zbiórki.

Table 1. Evacuation scenarios
Tabela 1. Scenariusze ewakuacji

Scenario / Scenariusz	Staircase / Klatka schodowa	Floor / Piętro	Population / Populacja			
S1	K1	II	P			
S2		IV				
S3		II	KE			
S4		IV				
S5		II	K			
S6		IV				
S7	K2	II	P			
S8		IV				
S9		II	KE			
S10		IV				
S11		II	K			
S12		IV				

Source / Źródło: Own elaboration. / Opracowanie własne.

Results

The results of the travel time measurements for S1 scenario are presented in Table 2.

Table 2. Travel-time measurement results for S1 scenario
Tabela 2. Wyniki pomiarów czasu przemieszczania się dla scenariusza S1

Measurement point / Punkt pomiaru		Time, mm:ss.00 / Czas, mm:ss.00				
		Trial 1 / Próba 1	Trial 2 / Próba 2	Trial 3 / Próba 3	Trial 4 / Próba 4	Trial 5 / Próba 5
End of the corridor / Koniec korytarza	1st person / 1. osoba	00:13.06	00:14.30	00:15.60	00:18.59	00:15.17
	Last person / Ostatnia osoba	00:24.57	00:27.57	00:26.57	00:29.61	00:26.34
End of stairs / Koniec schodów	1st person / 1. osoba	00:55.20	00:53.24	00:53.24	00:55.61	00:49.99
	Last person / Ostatnia osoba	01:05.54	01:14.61	01:09.93	01:10.96	01:08.87
Exit from the building / Wyjście z budynku	1st person / 1. osoba	01:06.24	00:57.03	00:57.77	00:58.36	00:52.31
	Last person / Ostatnia osoba	01:16.68	01:26.02	01:12.11	01:13.41	01:12.17
Assembly point / Miejsce zbiórki	1st person / 1. osoba	01:16.26	01:05.15	01:12.15	01:13.39	01:12.27
	Last person / Ostatnia osoba	01:29.00	01:38.15	01:21.85	01:23.54	01:22.88

Source: Own elaboration based on the conducted experiment.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonego eksperymentu.

From the above data, the total evacuation time does not reach 2 minutes. For comparison, Table 3 presents the results for S3 scenario. These results relate to the travel time.

Table 3. Travel time measurement results for S3 scenario
Tabela 3. Wyniki pomiarów czasu przemieszczania się dla scenariusza S3

Measurement point / Punkt pomiaru		Time, mm:ss.00 / Czas, mm:ss.00				
		Trial 1 / Próba 1	Trial 2 / Próba 2	Trial 3 / Próba 3	Trial 4 / Próba 4	Trial 5 / Próba 5
End of the corridor / Koniec korytarza	1st person / 1. osoba	00:18.05	00:16.69	00:16.63	00:15.60	00:18.09
	Evacuation chair / Krzesło ewakuacyjne	00:12.15	00:14.21	00:13.89	00:15.14	00:14.70
End of stairs / Koniec schodów	1st person / 1. osoba	00:49.42	00:48.42	00:51.12	00:46.74	00:53.07
	Evacuation chair / Krzesło ewakuacyjne	02:15.22	01:46.96	02:08.35	02:05.01	01:37.31
Exit from the building / Wyjście z budynku	1st person / 1. osoba	00:53.16	00:53.15	00:54.72	00:49.18	00:55.49
	Evacuation chair / Krzesło ewakuacyjne	02:41.99	01:53.00	02:14.29	02:05.01	01:42.31
Assembly point / Miejsce zbiórki	1st person / 1. osoba	01:23.51	01:25.77	01:23.64	01:13.27	01:16.59
	Evacuation chair / Krzesło ewakuacyjne	02:50.54	02:14.94	02:41.57	02:05.01	02:01.23

Source: Own elaboration based on the conducted experiment.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonego eksperymentu.

Wyniki

Wyniki pomiarów czasu przemieszczania się dla scenariusza S1 przedstawiono w tabeli 2.

Z powyższych danych można wywnioskować, że całkowity czas ewakuacji nie osiąga 2 minut. Dla porównania w tabeli 3 przedstawiono wyniki dla scenariusza S3. Odnoszą się one do czasu przemieszczania się.

The chart presented in Figure 14 shows a decreasing tendency both in case of the evacuation of people without disabilities and the use of an emergency chair, which means that over the course of the trials, the population participating in the study became more experienced, which made subsequent evacuation attempts shorter. Thus the evacuation was more efficient. Such observation allows to conclude that systematic evacuation attempts will have a positive effect on people's behavior and efficient evacuation.

Z wykresu przedstawionego na rycinie 14 można zauważyć malejący trend zarówno w przypadku ewakuacji osób sprawnych, jak i użycia krzesła ewakuacyjnego. Oznacza to, że z biegiem przeprowadzonych prób populacja biorąca udział w badaniu nabierała wprawy, przez co kolejne próby ewakuacyjne trwały krócej – ewakuacja przebiegała sprawniej. Taka obserwacja pozwala wysunąć wniosek, że systematyczne prowadzenie prób ewakuacyjnych będzie wpływać pozytywnie na zachowanie ludzi i sprawną ewakuację.

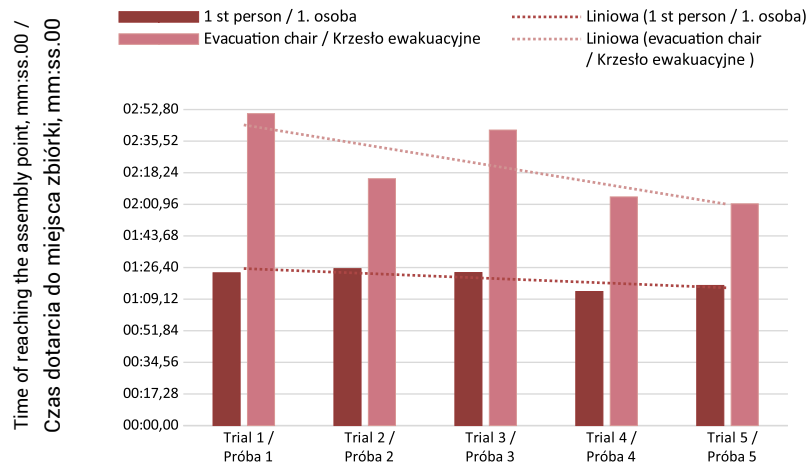


Figure 14. Time of reaching the assembly point for scenario S3
Rycina 14. Czas dotarcia na miejsce zbiórki dla scenariusza S3

Source: Own elaboration based on the conducted experiment.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonego eksperymentu.

Table 4 summarizes the results of the average time taken to reach the measurement point for each scenario analyzed.

W tabeli 4 zestawiono wyniki średniego czasu dotarcia do punktu pomiarowego dla każdego analizowanego scenariusza.

Table 4. Summary of the results of the average time to reach a specific measurement point in each evacuation scenario
Tabela 4. Zestawienie wyników średniego czasu dotarcia do określonego punktu pomiarowego w każdym scenariuszu ewakuacji

Scenario / Scenariusz		Average time at the measuring point, mm:ss.00 / Średni czas w punkcie pomiarowym, mm:ss.00			
Floor / Piętro	Staircase / Klatka schodowa	Population / Populacja Measurement point / Punkt pomiarowy	P	KE	K
II	K1	End of the corridor / Koniec korytarza	00:26.93	00:14.02	00:22.81
		End of the stairs / Koniec schodów	01:09.98	01:58.57	02:06.25
		End of stairs / Wyjście z budynku	01:16.08	02:07.32	02:10.13
		Assembly point / Miejsce zbiórki	01:23.10	02:22.66	02:39.34
	K2	End of the corridor / Koniec korytarza	00:39.54	00:41.73	01:06.42
		End of the stairs / Koniec schodów	01:07.58	01:32.13	02:44.74
		End of stairs / Wyjście z budynku	01:27.66	01:43.89	02:59.49
		Assembly point / Miejsce zbiórki	01:54.15	02:24.27	04:00.51

dalsza część tabeli na kolejnej stronie

Scenario / Scenariusz			Average time at the measuring point, mm:ss.00 / Średni czas w punkcie pomiarowym, mm:ss.00		
Floor / Piętro	Staircase / Klatka schodowa	Population / Populacja Measurement point / Punkt pomiarowy	P	KE	K
IV	K1	End of the corridor / Koniec korytarza	00:25.32	00:14.77	00:24.30
		End of the stairs / Koniec schodów	01:27.58	02:35.38	03:46.21
		End of stairs / Wyjście z budynku	01:29.87	02:54.45	03:50.18
		Assembly point / Miejsce zbiórki	01:40.68	03:04.91	04:19.39
	K2	End of the corridor / Koniec korytarza	00:35.33	00:35.77	01:11.68
		End of the stairs / Koniec schodów	01:24.80	02:11.13	04:25.70
		End of stairs / Wyjście z budynku	01:41.92	02:22.33	04:41.20
		Assembly point / Miejsce zbiórki	02:10.71	03:01.12	05:42.22

Source: Own elaboration based on the conducted experiment.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonego eksperymentu.

Analyzing the average total travel time of the studied populations, it can be concluded that the lowest values were recorded for P population in each evacuation scenario. On the other hand, the person on crutches was the slowest. It can also be concluded that the evacuation chair improved the evacuation process compared to the case where a person moves independently on crutches, which is clearly visible in Figure 15.

Analizując średni całkowity czas przemieszczania się badanych populacji, można stwierdzić, że najniższe wartości w każdym scenariuszu ewakuacji odnotowano dla populacji P, natomiast najwolniej poruszała się osoba o kulach. Można również stwierdzić, że krzesło ewakuacyjne usprawniło proces ewakuacji w stosunku do przypadku, gdy osoba porusza się samodzielnie o kulach, co widać jednoznacznie na rycinie 15.

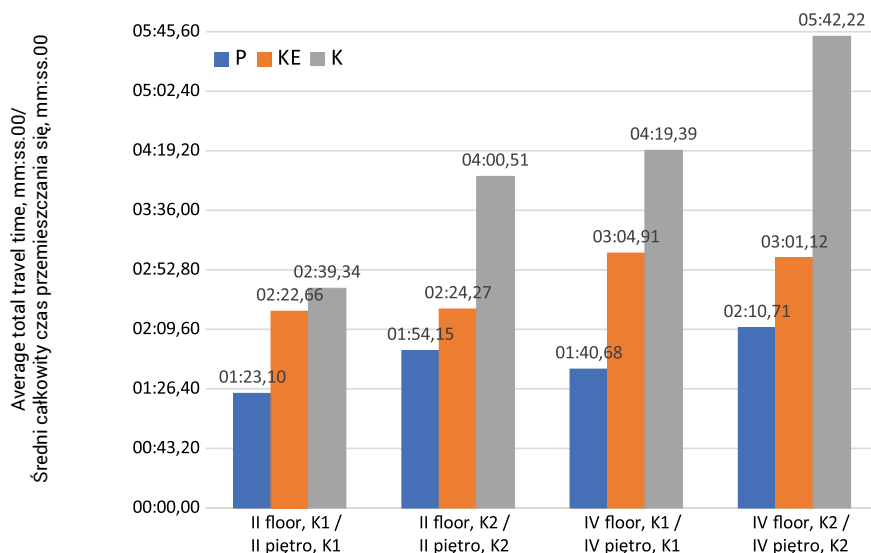


Figure 15. Average total travel time for each evacuation scenario for populations P, KE and K
Rycina 15. Średni całkowity czas przemieszczania się dla każdego scenariusza ewakuacyjnego dla populacji P, KE oraz K

Source: Own elaboration based on the conducted experiment.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonego eksperymentu.

For the evacuation from the second floor of K1 staircase, the travel time is 10.47% shorter for KE than for K. In case of the evacuation through K1 staircase from the fourth floor, the evacuation chair moves in 28.71% less time than a person on crutches. In case of evacuation through K2 staircase, these differences are much greater. For the second floor, this difference is 40.02% in favor of an emergency chair, and for the tests from the fourth floor, it can reach 47.07%.

It should also be remembered that if an evacuation chair is used, it must first be prepared for use – unfolded and possibly delivered to the place where the person with a disability is, the person on the evacuation chair must be seated (he/she can get on it independently) and fasten the seat belts. These actions will influence the evacuation time. The duration of these activities was measured, the results are shown in Figure 16. The time needed to bring the chair back, e.g. to evacuate another person, was also checked, the results are presented in Table 5.

Dla ewakuacji z II piętra klatką K1 czas przemieszczania się jest o 10,47% krótszy dla KE niż dla K. W przypadku ewakuacji klatką K1 z piętra IV krzesło ewakuacyjne porusza się w czasie o 28,71% krótszym niż osoba o kulach. W przypadku ewakuacji klatką schodową K2 różnice te są znacznie większe. Dla prób z II piętra różnica ta wynosi 40,02% na korzyść krzesła ewakuacyjnego, a z piętra IV– aż 47,07%.

Należy mieć na uwadze również fakt, że w przypadku zastosowania krzesła ewakuacyjnego należy je najpierw przygotować do użycia – rozłożyć i ewentualnie dostarczyć do miejsca, w którym przebywa osoba z niepełnosprawnością, a także trzeba taką osobę na krzesło ewakuacyjnym posadzić (może ona wsiadać samodzielnie) oraz zapiąć pasami bezpieczeństwa. Czynności te będą wpływać na czas ewakuacji. Zmierzono czas ich trwania, a wyniki przedstawiono na rycinie 16. Sprawdzono również, ile czasu zajmie wniesienie krzesła z powrotem, np. w celu ewakuacji kolejnej osoby – wyniki przedstawiono w tabeli 5.

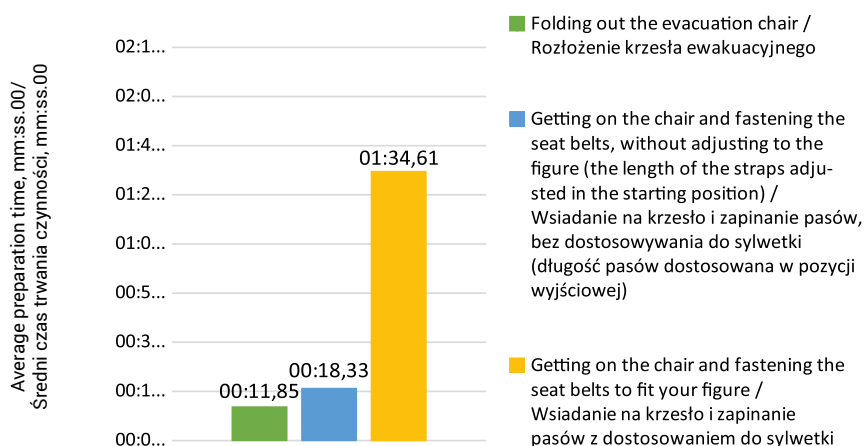


Figure 16. Time required to prepare an emergency evacuation chair for use
Rycina 16. Czas potrzebny na przygotowanie krzesła ewakuacyjnego do użycia

Source: Own elaboration based on the conducted experiment.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonego eksperymentu.

Table 5. Time and speed of bringing an emergency chair back to a given floor

Tabela 5. Czas oraz prędkość wnoszenia krzesła ewakuacyjnego z powrotem na dane piętro

Activity / Czynność	Staircase / Klatka schodowa	Floor / Piętro	Average duration of activity, mm:ss.00 / Średni czas trwania czynności, mm:ss.00	Distance, m / Dystans, m	Average speed, m/s / Średnia prędkość, m/s
Bringing the chair back / Wniesienie krzesła z powrotem	K1	II	01:30.12	55.72	0.62
		IV	01:51.47	81.14	0.73
	K2	II	01:34.56	85.22	0.90
		IV	02:53.80	110.74	0.64

Source: Own elaboration based on the conducted experiment.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonego eksperymentu.

By analyzing the travel times and the distance traveled, the average speed of the population was calculated in each evacuation scenario. The calculations were made separately for the horizontal sections – corridors and for vertical sections – staircases. The results of the average walking speed are shown in Figure 17. Maximum and minimum values are represented by error bars.

Analizując czasy przemieszczania się oraz pokonywany dystans, obliczono średnią prędkość poruszania się populacji w każdym scenariuszu ewakuacji. Obliczenia zostały wykonane osobno dla odcinków poziomych – korytarzy oraz dla odcinków pionowych – klatek schodowych. Wyniki średniej prędkości poruszania się przedstawiono na rycinie 17. Maksymalne oraz minimalne wartości zaprezentowano za pomocą słupków błęd.

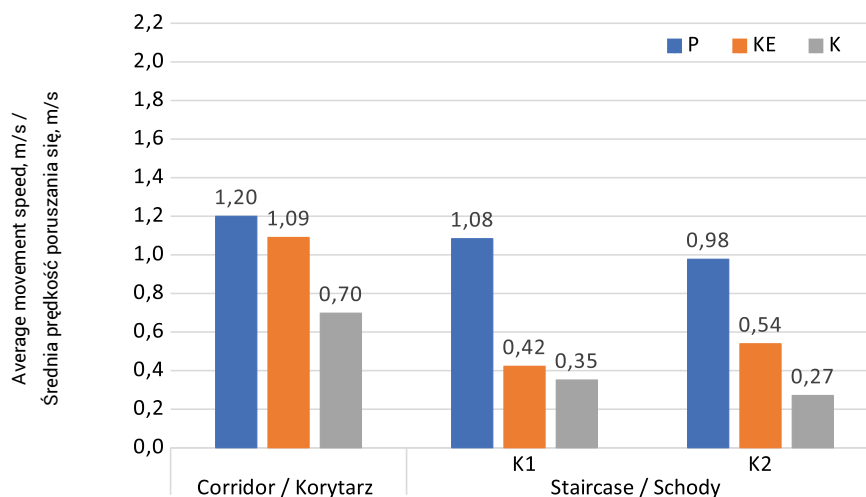


Figure 17. Average speed of movement of the population P, KE and K
Rycina 17. Średnia prędkość poruszania się populacji P, KE oraz K

Source: Own elaboration based on the conducted experiment.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonego eksperymentu.

When analyzing the average speed results, it can be seen that all populations moved fastest on flat sections. The speeds of P and KE populations are similar. The speed of KE depends on the speed of the movement of the person operating the evacuation chair. As expected, the speeds of moving up the stairs of both the crutch emergency chair and the person are lower compared to population P. The lowest walking speed in all scenarios is shown by a person walking on crutches. On both K1 and K2 staircase, a person on crutches moves more than 3 times slower than the P population. The evacuation chair also moves slower than the P population, but the differences are smaller. For K1 staircase, the difference is 61%, and for K2 staircase, it is about 45%. Analyzing average speeds, evacuation using a chair to evacuate a person with disability improved by less than 17% on K1 staircase and by almost 50% on K2 staircase. The differences in the results for the staircases K1 and K2 may result from the different construction of these staircases. Also, when moving in the corridor, the average speed of KE is higher than K by more than 35%, therefore in this case the use of an evacuation chair is justified.

The speed of movement of individual populations determined by the tests can be used as model values to simulate evacuation. The speed of movement on flat sections of roads for the population without disabilities is proposed as 1.20 m/s; evacuation

Analizując wyniki średniej prędkości, można zauważyć, że wszystkie populacje najszybciej poruszają się po płaskich odcinkach. Prędkość populacji P oraz KE są zbliżone. Prędkość KE zależy od prędkości poruszania się osoby obsługującej krzesło ewakuacyjne. Zgodnie z przypuszczeniami, prędkości poruszania się po schodach – zarówno krzesła ewakuacyjnego, jak i osoby o kulach – są niższe w porównaniu do populacji P. Najniższą prędkość poruszania się we wszystkich scenariuszach wykazuje osoba poruszająca się o kulach. Zarówno na klatce schodowej K1 jak i K2, osoba o kulach porusza się ponad trzykrotnie wolniej od populacji P. Krzesło ewakuacyjne również porusza się wolniej od populacji P, natomiast różnice te są mniejsze. Dla klatki schodowej K1 różnica wynosi 61%, natomiast dla klatki schodowej K2 – ok. 45%. Analizując średnie prędkości, ewakuacja poprzez zastosowanie krzesła do ewakuacji osoby z niepełnosprawnością została usprawniona o niecałe 17% na K1 oraz o prawie 50% na klatce K2. Różnice w wynikach dla klatki K1 i K2 mogą wynikać z różnej budowy tych klatek schodowych. Również w przypadku poruszania się po korytarzu, średnia prędkość KE jest wyższa niż K o ponad 35%, dlatego w tym wypadku zastosowanie krzesła ewakuacyjnego jest zasadne.

Wartości prędkości poruszania się poszczególnych populacji określone za pomocą badań, mogą zostać wykorzystane jako

chair moving speed 1.09 m/s; and the speed of a person moving on crutches is 0.70 m/s. For vertical sections – stairs, the speed of the population without disabilities is 1.08 m/s for evacuation through K1 staircase and 0.98 m/s for K2 staircase; evacuation chair moving speed 0.42 m/s for K1 staircase and 0.54 m/s for K2; while the speed of a person moving with crutches is 0.35 m/s on K1 staircase and 0.27 m/s on K2 staircase.

Conclusions

In line with the assumptions, research has shown that evacuation of the population with a person with disabilities is slower, even with the help of an evacuation chair. The speed of evacuation on the evacuation chair depends on the speed of the people who operate it. Undoubtedly, an evacuation chair is a useful solution for the evacuation of people with limited mobility. Comparing both the evacuation times and the speed of movement, it can be observed that a person moving independently on crutches moves the slowest and the evacuation time is the longest. The speed of movement of individual populations determined in the research can serve as a model value for the simulation of evacuation.

Technical and construction regulations still lack specific solutions for the evacuation of people with disabilities. It is necessary to develop appropriate regulations that consider this aspect of evacuation. According to practice, the only alternative to evacuate people with reduced mobility is manual transport by other evacuees or transport by cranes for the fire brigade, according to the standard [16], but this solution also has limitations. Manual transport is often problematic and difficult to perform. In this case, people who have problems with independent movement are forced to wait for emergency services. The evacuation chair gives the opportunity to help these people and provide evacuation at the same time as the rest of the building users, without having to wait for help from qualified rescuers.

Acknowledgments

Many thanks to EnSafe Sp. z o.o. for technical support by providing an evacuation chair for research.

wartości modelowe do wykonania symulacji ewakuacji. Prędkość poruszania się po płaskich odcinkach dróg osób pełnosprawnych proponuje się przyjąć jako 1,20 m/s; prędkość poruszania się krzesła ewakuacyjnego – jako 1,09 m/s; a prędkość osoby poruszającej się o kulach – jako 0,70 m/s. Dla odcinków pionowych (schodów) prędkość populacji pełnosprawnej to 1,08 m/s dla ewakuacji klatką schodową K1 oraz 0,98 m/s dla klatki schodowej K2. Prędkość poruszania się krzesła ewakuacyjnego wynosi 0,42 m/s dla klatki schodowej K1 oraz 0,54 m/s dla K2, natomiast prędkość osoby poruszającej się o kulach – 0,35 m/s na klatce K1 oraz 0,27 m/s na klatce K2.

Wnioski

Zgodnie z założeniami badania wykazały, że ewakuacja populacji, w której znajduje się osoba z niepełnosprawnością, jest wolniejsza nawet przy zastosowaniu pomocy w postaci krzesła ewakuacyjnego. Prędkość poruszania się krzesła ewakuacyjnego zależy od prędkości poruszania się osób, które je obsługują. Niewątpliwie krzesło ewakuacyjne jest przydatnym rozwiązaniem w przypadku ewakuacji osób o ograniczonej zdolności poruszania się lub całkowitym jej braku. Porównując zarówno czasy ewakuacji, jak i prędkości poruszania się, możemy zauważyć, że osoba poruszająca się samodzielnie o kulach przemieszcza się najwolniej, a czas ewakuacji jest najdłuższy. Wyznaczona na podstawie badań prędkość poruszania się poszczególnych populacji posłuży jako wartość modelowa do wykonania symulacji ewakuacji.

W przepisach techniczno-budowlanych wciąż widoczny jest brak określonych rozwiązań dotyczących ewakuacji osób z niepełnosprawnościami. Konieczne jest sporządzenie odpowiednich rozporządzeń, które będą uwzględniały ten aspekt ewakuacji. W praktyce jedyną alternatywą ewakuacji osób o ograniczonej zdolności poruszania się jest transport ręczny przez inne osoby ewakuujące się lub transport dźwigami dla straży pożarnej, zgodnie z normą PREN 81-76 [16], to rozwiązanie posiada jednak pewne ograniczenia. Transport ręczny często jest problematyczny, a niejednokrotnie niemożliwy do wykonania. W takim wypadku osoby mające problem z samodzielnym poruszaniem się zmuszone są do oczekiwania na służby ratownicze. Krzesło ewakuacyjne umożliwia pomoc tym osobom oraz ewakuację w tym samym czasie co reszta użytkowników budynku, bez konieczności czekania na pomoc wykwalifikowanych ratowników.

Podziękowania

Serdeczne podziękowania dla firmy EnSafe Sp. z o.o. za udostępnienie krzesła ewakuacyjnego do badań oraz przeprowadzenie szkolenia.

Literature / Literatura

- [1] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz.U. 1994 Nr 89, poz. 414).
- [2] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz.U. 1991 Nr 81, poz. 351).
- [3] Ustawa z dnia 19 lipca 2019 r. o zapewnianiu dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami (Dz.U. 2019 poz. 169).
- [4] Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 11 września 2020 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz.U. 2020 poz. 1609).
- [5] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 września 2021 r. w sprawie uzgadniania projektu zagospodarowania działki lub terenu, projektu architektoniczno-budowlanego, projektu technicznego oraz projektu urządzenia przeciwpożarowego pod względem zgodności z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej (Dz.U. 2021 poz. 1722).
- [6] Boyce K.E., Shields T.J., Silcock G.W.H., *Toward the characterization of building occupancies for fire safety engineering: capabilities of disabled people moving horizontally and on an incline*, "Fire Technology" 1999, 35(1), 51–67, <https://doi.org/10.1023/A:1015339216366>.
- [7] Christensen K.M., Collins S.D., Holt J.M., Phillips C.N., *The relationship between the design of the built environment and the ability to egress of individuals with disabilities*, "Review of Disability Studies: An International Journal", 2006, vol. 2 No.3.
- [8] Shi L., Xie Q., Cheng X., Chen L., Zhou Y., Zhang R., *Developing a database for emergency evacuation model*, "Building and Environment" 2009, 44, 8, 1724–1729, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.11.008>.
- [9] Jiang C.S., Zheng S.Z., Yuan F., Jia H.J., Zhan Z.N., Wang J.J., *Experimental assessment on the moving capabilities of mobility-impaired disabled*, "Safety Science" 2012, 50, issue 4, 974–985, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.12.023>.
- [10] Kuligowski E., Peacock R., Wiess E., Hoskins B., *Stair evacuation of older adults and people with mobility impairments*, "Fire Safety Journal" 2013, 62, 230–237, <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.09.027>.
- [11] Kuligowski E., Peacock R., Wiess E., Hoskins B., *Stair evacuation of people with mobility impairments: Stair evacuation of people with mobility impairments*, "Fire Mater" 2015, 39, 4, 371–384, <https://doi.org/10.1002/fam.2247>.
- [12] Hashemi M., *Emergency evacuation of people with disabilities: A survey of drills, simulations, and accessibility*, "Cogent Engineering" 2018, 5, 1, 1506304, <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1506304>.
- [13] Hunt A., Galea E.R., Lawrence P.J., *An analysis and numerical simulation of the performance of trained hospital staff using movement assist devices to evacuate people with reduced mobility. Movement assist devices to evacuate prm*, "Fire Mater" 2015, 39, 4, 407–429, <https://doi.org/10.1002/fam.2215>.
- [14] Lavender S.A., Hedman G.E., Mehta J.P., Reichelt P.A., Conrad K.M., Park S., *Evaluating the physical demands on firefighters using hand-carried stair descent devices to evacuate mobility-limited occupants from high-rise buildings*, "Applied Ergonomics" 2014, 45, 3, 389–397, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.05.005>.
- [15] CFFPA-E Guideline No 19:2009 F, *Fire safety engineering concerning evacuation from buildings*. CFFPA-Europe, 2009.
- [16] PREN 81-76 Safety rules for the construction and installation of lifts – Particular applications for passengers and goods passenger lifts – Part 76: Evacuation of persons with disabilities using lifts.

KAROLINA SZULC, M.SC. ENG. – a graduate of Safety Engineering at the Faculty of Environmental and Energy Engineering of the Silesian University of Technology, currently a doctoral student in the Department of Heating, Ventilation and Dust Removal Technology, Faculty of Energy And Environmental Engineering, Silesian University of Technology. As part of her doctoral dissertation, she is conducting research related to the analysis of the conditions of fire escape routes during the development of a fire during the evacuation of people with disabilities. She uses the method of numerical fluid mechanics to analyse the conditions of evacuation routes. An important part of the research is to analyse the feasibility of including people with disabilities in evacuation models. She performs evacuation simulations with a simulator using artificial intelligence algorithms. The research work is carried out under the guidance of a supervisor Małgorzata Król, D.Sc. Eng.

MGR INŻ. KAROLINA SZULC – absolwentka kierunku Inżynieria Bezpieczeństwa na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej, obecnie doktorantka w Katedrze Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylania Politechniki Śląskiej. W ramach pracy doktorskiej prowadzi działalność badawczą związaną z analizą warunków panujących na drogach ewakuacyjnych w czasie rozwoju pożaru podczas ewakuacji osób z niepełnosprawnościami. Do analizy warunków panujących na drogach ewakuacyjnych wykorzystuje metody numerycznej mechaniki płynów. Ważnym elementem badań jest analiza możliwości uwzględniania w modelach ewakuacji osób z niepełnosprawnościami. Wykonuje symulacje ewakuacji z użyciem symulatora wykorzystującego algorytmy sztucznej inteligencji. Prace badawcze prowadzone są pod kierownictwem promotor dr hab. inż. Małgorzaty Król.

MARCIN CISEK, D.SC. ENG. – partner at Protect Tadeusz Cisek i Wspólnicy Spółka Jawna, fire protection expert of the Chief Commander of the State Fire Service. A graduate of the Main School of Fire Service and the Faculty of Cybernetics of the Military University of Technology in Warsaw. He holds a doctoral degree in civil engineering and transport from the Institute of Building Technology in Warsaw. He conducts scientific, popularization and educational activities as a lecturer at, among others, the Scientific and Research Centre for Fire Protection in Józefów and at postgraduate studies at the Warsaw University of Technology and the Main School of Fire Service in Warsaw. He has more than 20 years of experience in fire safety engineering, risk analysis and computer simulation of fire and evacuation.

DR HAB. INŻ. MAŁGORZATA KRÓL, PH.D. ENG., PROFESSOR OF PŚ – she works as a professor in the Department of Heating, Ventilation and Dust Removal Technology, Faculty of Energy And Environmental Engineering, Silesian University of Technology (PŚ) in Gliwice. Her research involves issues related to fire ventilation of buildings and the influence of external parameters on the smoke ventilation process. She performed tests on the effectiveness of ventilation in the tunnels under Martwa Wisła and in Laliki. In her work, in addition to in-situ studies, she also uses numerical analysis. She is the author of dozens of publications in peer-reviewed journals.

DR INŻ. MARCIN CISEK – współnik w firmie Protect Tadeusz Cisek i Wspólnicy Spółka Jawna, rzeczoznawca ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej. Absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej oraz Wydziału Cybernetyki Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Posiada stopień naukowy doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport uzyskany w Instytucie Techniki Budowlanej w Warszawie. Prowadzi działalność naukową, popularyzatorską oraz edukacyjną jako wykładowca między innymi w Centrum Naukowo Badawczym Ochrony Przeciwożarowej w Józefowie oraz na studiach podyplomowych Politechniki Warszawskiej i Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Posiada ponad 20-letnie doświadczenie w zakresie inżynierii bezpieczeństwa pożarowego, analizy ryzyka oraz komputerowych symulacji pożaru i ewakuacji.

DR HAB. INŻ. MAŁGORZATA KRÓL, PROF. PŚ – pracuje na stanowisku profesora w Katedrze Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylenia na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W badaniach naukowych zajmuje się zagadnieniami związanymi z wentylacją pożarową budynków oraz wpływem parametrów zewnętrznych na proces oddymiania. Wykonywała badania efektywności działania wentylacji w tunelach Pod Martwą Wisłą oraz w Lalikach. W swojej pracy, poza badaniami in-situ, wykorzystuje również analizy numeryczne. Jest autorką kilkudziesięciu publikacji w recenzowanych czasopismach.