



POLITECHNIKA POZNAŃSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII ZARZĄDZANIA

mgr inż. poż. Krzysztof Zając

Rozprawa doktorska

**METODYKA OCENY JAKOŚCI KRZESEŁ EWAKUACYJNYCH
ZAPEWNIAJĄCA BEZPIECZEŃSTWO ICH UŻYTKOWANIA**

doktorat wdrożeniowy

Promotor:

dr hab. inż. Beata MRUGALSKA, prof. PP

Promotor pomocniczy:

prof. dr hab. inż. Maciej SYDOR

Poznań, wrzesień, 2025

Krzysztof ZAJĄC

Serdeczne podziękowania składam

Pani promotor dr hab. inż. Beacie Mrugalskiej, prof. PP

oraz

Panu promotorowi pomocniczemu prof. dr hab. inż. Maciejowi Sydorowi

*za nieocenioną pomoc, ukierunkowanie badań, wsparcie przy realizacji
rozprawy doktorskiej i ogromną życzliwość.*

Spis treści

Streszczenie	7
Summary	8
1 Wprowadzenie	9
1.1 Uzasadnienie podjęcia tematu	9
1.2 Przegląd literatury tematu w bazach bibliograficznych	19
1.3 Przedmiot i podmiot badań	24
1.4 Cel pracy	25
1.5 Problem badawczy	25
1.6 Pytania badawcze	26
1.7 Metodyka realizacji pracy doktorskiej	26
2 Przegląd literatury dotyczącej jakości i stanu techniki w zakresie krzeseł ewakuacyjnych	32
2.1 Pojęcie jakości w technice	32
2.2 Ocena jakości produktów	37
2.3 Zarządzanie jakością	47
2.4 Jakość w odniesieniu do krzesła ewakuacyjnego	51
3 Badania własne czynników jakościowych opisujących przydatność krzeseł ewakuacyjnych w systemach ewakuacji osób z niepełnosprawnościami	67
3.1 Materiały i metody badań	67
3.2 Rezultaty badań własnych	69
4 Autorska metodyka badawcza oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych	180
5 Podsumowanie i kierunki dalszych badań	186
5.1 Wyniki badań naukowych	188
5.2 Wyniki prac wdrożeniowych	191
5.3 Odpowiedzi na pytania badawcze	193
5.4 Kierunki dalszych badań	196
6 Bibliografia	199
Załącznik	218
Spis rysunków	225
Spis tabel	229

Streszczenie

Rozprawa doktorska o charakterze teoretyczno-empirycznym dotyczy opracowania metodyki badawczej oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych zapewniającej bezpieczeństwo ich użytkowania. Dostępność architektoniczna obiektów i znoszenie barier są wyzwaniem, z którym mierzymy się jako społeczeństwo już dziś i będziemy się mierzyć przez wiele kolejnych lat. Właściwe przygotowanie i efektywne zarządzanie procesem ewakuacji wspomaganej ma kluczowe znaczenie dla życia i zdrowia osób ze szczególnymi potrzebami. Metodyka badawcza oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych umożliwi zwiększenie szybkości ewakuacji, poczucia bezpieczeństwa osoby ewakuowanej oraz optymalizacji kosztów wdrożenia ewakuacji wspomaganej przez zarządcę obiektu. Cel osiągnięto za pomocą następujących działań:

- analizy literatury z zakresu ewakuacji wspomaganej przy użyciu różnego rodzaju sprzętu ewakuacyjnego oraz norm technicznych dla wyrobów podobnego typu,
- ankiety eksperckiej mającej na celu poznanie opinii osób na co dzień mających do czynienia z krzesłami ewakuacyjnymi nt. nowych czynników jakościowych wraz z obliczeniem współczynnika konkordancji Kendalla i Smitha,
- badań, eksperymentów, testów przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych oraz z użyciem programu do symulowania ruchu osób podczas ewakuacji,
- analizy aspektów związanych z kosztami wdrożenia ewakuacji wspomaganej w obiekcie,
- opracowania schematu metodyki badania jakości systemów ewakuacji.

Dane zebrane podczas procesu badawczego umożliwiły opracowanie metodyki badawczej, nowych czynników jakościowych i procesu wdrożenia krzeseł ewakuacyjnych do użytkowania w budynku użyteczności publicznej.

Wdrożenie zaproponowanej metodyki może przyczynić się do lepszego zarządzania procesem ewakuacji. Przeprowadzenia jej sprawnej i skutecznej. Ponadto metodyka ta umożliwi poprawę jakości krzeseł ewakuacyjnych – poszczególnych jej podzespołów przez producenta tego wyrobu. Metodyka badawcza umożliwia również wdrożenie przez zarządcę obiektu ewakuacji wspomaganej z budynku z uwzględnieniem kosztów i czasu niezbędnego na przeprowadzenie tego procesu.

Summary

The theoretical and empirical doctoral dissertation focuses on the development of a research methodology for assessing the quality of evacuation chairs to ensure their safe use. The architectural accessibility of buildings and the removal of barriers is a challenge that we face as a society today and will continue to face for many years to come. Effective management of assisted evacuation is crucial to the lives and health of people with special needs. The research methodology for assessing the quality of evacuation chairs aims to facilitate the selection of devices that will increase the speed of evacuation, enhance the evacuated person's sense of safety, and optimize the costs of implementing assisted evacuation for the facility manager. The goal was accomplished through the following steps:

- analysis of literature on assisted evacuation using various types of evacuation equipment and technical standards for similar products,
- expert survey aimed at gathering the opinions of people directly involved with evacuation chairs on a daily basis on new quality factors, with the calculation of the Kendall and Smith concordance coefficient,
- research, experiments, and tests conducted in real conditions and using software to simulate the movement of people during evacuation,
- analysis of aspects related to the costs of implementing assisted evacuation in a facility,
- development of a research methodology diagram.

The data collected during the research process enabled the development of a research methodology, new quality factors, and guidelines for the successful implementation of evacuation chairs in public buildings.

The implementation of the proposed methodology may contribute to better management of the evacuation process, thereby making it more efficient and effective. Furthermore, this methodology provides the product's manufacturer with the necessary guidelines to improve the quality of evacuation chairs and their individual components. The methodology also enables the facility manager to implement assisted evacuation from the building, considering the required costs and time.

1 Wprowadzenie

1.1 Uzasadnienie podjęcia tematu

Jako społeczeństwo powinniśmy zapewnić wszystkim obywatelom inkluzywny dostęp do budynków, obiektów i przestrzeni publicznej (European Commission, 2021). Obecnie wiele osób ze szczególnymi potrzebami – w tym osoby z niepełnosprawnościami, osoby starsze oraz osoby z czasowymi ograniczeniami mobilności – doświadczają barier architektonicznych i społecznych prowadzących do wykluczenia społecznego (WHO, 2022).

Według danych podawanych w rządowym programie „Dostępność Plus” w 2018 roku osoby z niepełnosprawnościami stanowiły około 12,2% polskiej populacji (ok. 4,7 mln) (Departament Europejskiego Funduszu Społecznego, 2018). Wyniki ostatniego Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkań z 2021 roku wskazują 5 447 548 osób deklarujących niepełnosprawność (14,3% populacji (Gudaszewski *i in.*, 2023)); jest to o 750 501 osób więcej w porównaniu z danymi spisu powszechnego z 2011 roku (Wysocka *i in.*, 2013). Z tej grupy prawie 1,5 mln osób jest niepełnosprawnych ruchowo, co stanowi około 4% polskiego społeczeństwa. Zgodnie z badaniami Eurostatu (deklaratywnymi) w Polsce 22,1% całego społeczeństwa deklaruje że jest osobami z niepełnosprawnością (*Population with disability*, 2024) a 23% społeczeństwa (*Functional and activity limitations statistics*, 2023) deklaruje długotrwałe ograniczenia w codziennej aktywności z powodu problemów zdrowotnych. Warto podkreślić, że liczba osób z niepełnosprawnościami zależy od przyjętych kryteriów niepełnosprawności. Liczba osób z niepełnosprawnościami mających orzeczenie o niepełnosprawności jest mniejsza od liczby osób deklarujących niepełnosprawność. Dodatkowo część niepełnosprawności pozostaje niewidoczna, ponieważ nie wszystkie osoby z niepełnosprawnościami ujawniają swoją niepełnosprawność (Fitzgerald i Paterson, 1995). Dlatego podawana liczba osób niepełnosprawnych w Polsce może sięgać od około 3 milionów (niepełnosprawność poświadczona prawnie), przez około 5,5 miliona (niepełnosprawność biologiczna/społeczna odczuwana i deklarowana) do liczby przekraczającej wspomniane 5,5 miliona. Niepełnosprawność deklarowana jest często stosowana w badaniach

unijnych, jest ona oparta na kryterium „funkcjonalnym”, opisanym w Międzynarodowej Klasyfikacji Funkcjonowania, Niepełnosprawności i Zdrowia (ICF) (WHO, 2018)).

„Globalny raport na temat równości w zdrowiu osób z niepełnosprawnościami” Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) z 2024 roku wskazuje, że obecnie 1,3 miliarda ludzi, czyli 16% światowej populacji, to osoby ze znacznymi niepełnosprawnościami (*Globalny raport na temat równości w zdrowiu osób z niepełnosprawnościami: streszczenie*, 2024). Przyjmuje się, że liczba osób ze szczególnymi potrzebami w najbliższych latach i dekadach będzie rosła. Wynika to z kilku przyczyn a jedną z nich jest starzenie się społeczeństwa, a Polska jest obecnie najszybciej starzejącym się państwem w Unii Europejskiej. Populacja osób powyżej 65. roku życia w 2018 r. stanowiła 16% mieszkańców Polski, a w 2025 roku osiągnęła 22% ludności (Gudaszewski *i in.*, 2023), natomiast w 2050 roku będzie to 33%. Prognozuje się, że seniorzy będą coraz liczniejszą grupą społeczną – dłużej aktywną (również zawodowo) i zdrowszą niż dziś, ale w dużej części wymagającą wsparcia, opieki, aby móc funkcjonować, dotyczy to szczególnie osób po 80. roku życia, a ich liczba w 2030 roku wyniesie około 2,2 mln („Uchwała Nr 161 Rady Ministrów z dnia 26 października 2018 r. w sprawie przyjęcia dokumentu Polityka społeczna wobec osób starszych 2030. BEZPIECZEŃSTWO – UCZESTNICTWO – SOLIDARNOŚĆ”, 2018). Jest to istotna kwestia, ponieważ raport organizacji międzyrządowej OECD (Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju) zrzeszającej 38 wysoko rozwiniętych państw w tym Polskę (Garcia-Mandico, Prinz i Thewissen, 2022) wskazuje, że proces starzenia się społeczeństw w istotny sposób wpływa na wzrost osób z niepełnosprawnościami, jako że częstość niepełnosprawności wzrasta z wiekiem. Dane zawarte w artykule pt. „Potrzeby osób starszych w reagowaniu na katastrofy miejskie: systematyczny przegląd literatury” autorstwa Nichapa Phraknoi i współautorów (2023) wskazuje ponadto, że osoby starsze są często pomijane w planowaniu reagowania kryzysowego i nie jest dostosowana do ich potrzeb infrastruktura związana z ewakuacją. Z kolei Thériault i inni (2024) zwracają uwagę, że brak jest spójnego i systematycznego podejścia do edukacji osób starszych w zakresie procesu ewakuacji i zarządzania nim. Niewielka liczba badań poddaje ocenie, czy osoby starsze i z niepełnosprawnościami naprawdę uczą się i pamiętają, co mają robić w czasie zagrożenia np. pożaru. Charness (1985) dowiódł, że związek między wiekiem

a sprawnością często przyjmuje postać odwróconej funkcji „u”. Po osiągnięciu dorosłości a następnie po wkroczeniu w wiek średni i późniejszy, układy biologiczne u ludzi zaczynają zanikać, co powoduje, że starzenie się negatywnie wpływa na zdolność do wykonywania zadań i podejmowania różnych działań (Charness, 1985). Należy jednak pamiętać, że osoby starsze nie stanowią grupy jednorodnej. Badania naukowe prowadzone przez Baltesa (1987) wykazały zauważalny spadek zdolności poznawczych u 70-latków, podczas gdy kilka innych badań wykazało, że nie dotyczy to 60-latków (Hertzog, 1989). Wskazane różnice potwierdza również praca Salthouse'a (1991), która dotyczyła przyspieszonych pomiarów i wykazał on, że wiek wpływa negatywnie na czas reakcji.

Wartymi przytoczenie w odniesieniu do kwestii związanych z ewakuacją osób ze szczególnymi potrzebami oraz danych na temat faktycznej ich liczby jaka może znajdować się w budynku, są artykuły Eriki Kuligowski, i współautorów (2015a), Karen Boyce (2017) oraz *Raport o zawaleniu się wież World Trade Center (WTC)* (Sunder i in., 2005). W przytoczonych publikacjach zawarto analizę wyzwań i potrzeb jakie są związane z ewakuacją osób ze szczególnymi potrzebami głównie w kontekście ewakuacji wspomaganej po schodach na bazie doświadczeń z ewakuacji WTC w 2001 roku. Analiza obejmuje również wyniki eksperymentów i wywiadów z użytkownikami sprzętu ewakuacyjnego. Główne wnioski z cytowanych badań to, aby projektować obiekty inkluzywne, należy zwiększyć liczbę sprzętu ewakuacyjnego na piętrach oraz zwrócić uwagę na rozwój planów PEEP (Indywidualnych planów ewakuacji w nagłych wypadkach, ang. *Personal Emergency Evacuation Plan*), które póki co nie są wymagane systemowo w Polsce.

Zgodnie z danymi amerykańskiej agencji rządowej, Narodowego Centrum ds. Wad Wrodzonych i Zaburzeń Rozwojowych, aktualnie w Stanach Zjednoczonych żyje 28,7% osób, które mają jakiś rodzaj niepełnosprawności z czego 12,2% ma poważne trudności z chodzeniem lub wchodzeniem po schodach (*Disability Impacts All of Us Infographic*, 2024). Dane wskazują, że w ciągu ostatnich 10 lat w Stanach Zjednoczonych istotnie zwiększyła się grupa osób ze szczególnymi potrzebami, w tym osób z trudnościami z poruszaniem się po schodach. Warto również zwrócić uwagę na rosnący problem otyłości, który dotyczy społeczeństw wysokorozwiniętych (Hitka, Gejdoš i Sydor, 2024),

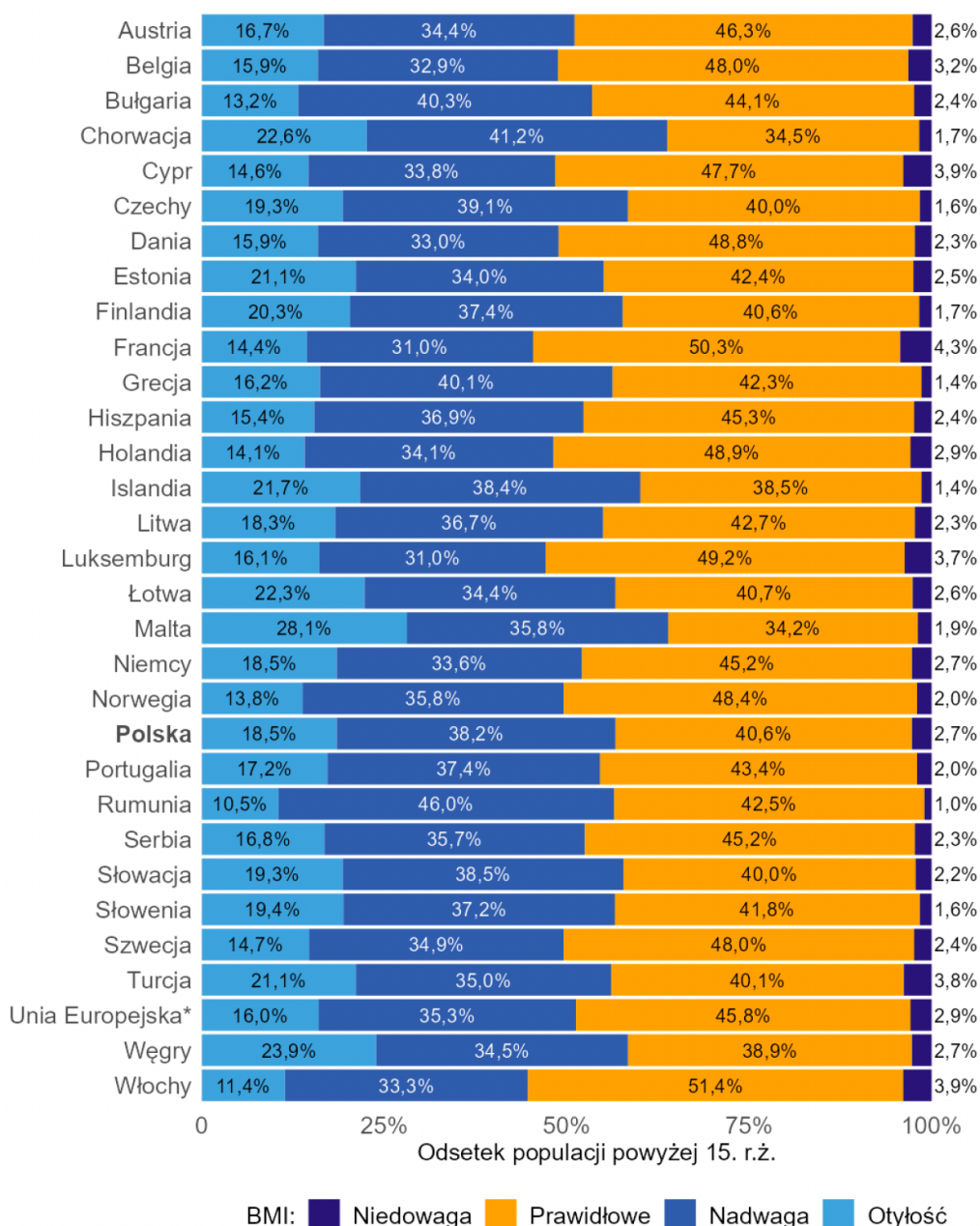
a przekłada się m. in. na możliwość swobodnego poruszania się po schodach . W Tabeli 1 wskazano, jak sytuacja wyglądała w 2020 r., obecnie oraz jakie są prognozy na kolejne lata.

Tabela 1. Liczby oraz odsetki ludności powyżej 5. r.ż. na świecie z otyłością lub nadwagą (źródła: NFZ o zdrowiu. Otyłość i jej konsekwencje (Pawlewicz, 2024); World Obesity Atlas 2023 (Tim Lobstein i in., 2023)).

	2020	2025	2030	2035
Liczba osób z nadwagą lub otyłością (w mln)	2 603	3 041	3 507	4 005
Odsetek populacji z nadwagą lub otyłością	38%	42%	46%	51%
Liczba osób z otyłością (w mln)	988	1 249	1 556	1 914
Odsetek populacji z otyłością	14%	17%	20%	24%

Dane przytoczone w Tabeli 1 wskazują, że liczba osób z otyłością i z nadwagą będzie w najbliższych latach wzrastać i w 2035 roku osiągnie wartość 4 miliardy osób, co będzie stanowić 51% światowej populacji. Blisko jedna czwarta populacji osób żyjących na świecie w 2035 roku (24%) będzie otyła.

Z kolei w raporcie opracowanym przez Eurostat wskazano, że odsetek osób z nadwagą wzrasta wraz z wiekiem i osiąga szczyt wśród osób w wieku od 65 do 74 lat (Eurostat, 2024). Jak wynika z raportu NFZ „Otyłość i jej konsekwencje”, opublikowanego w 2024 roku, i opracowanego na podstawie danych Eurostat, w 2019 roku około 18,5% populacji w Polsce stanowiły osoby otyłe (Rysunek 1) (Pawlewicz, 2024).



Rysunek 1. Liczba osób otyłych w Europie (źródło: NFZ o zdrowiu. Otyłość i jej konsekwencje (Pawlewicz, 2024)).

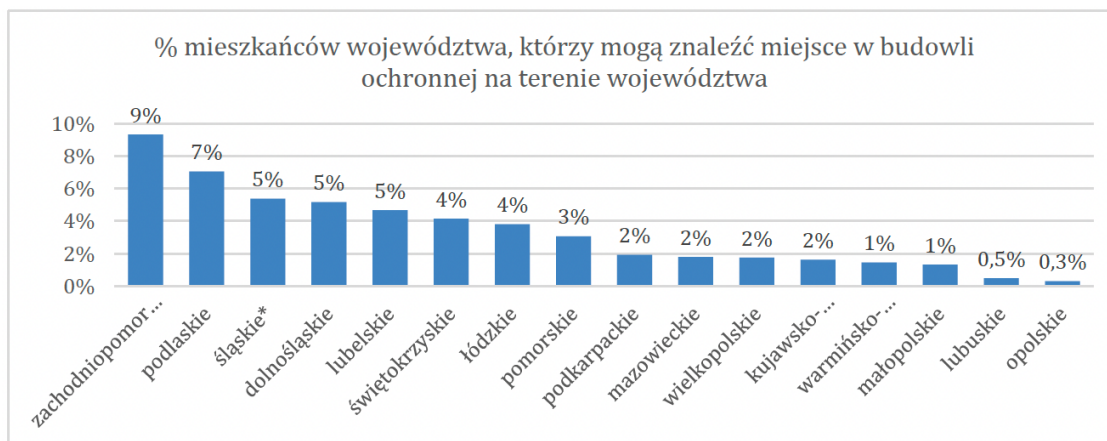
Przytoczone dane potwierdzają, że w ramach ewakuacji wspomaganej należy rozpatrywać również osoby otyłe, ponieważ problem z ich ewakuacją w najbliższych latach będzie wzrastał.

Zarządzanie procesem ewakuacji wspomaganej staje się znacznie bardziej skomplikowane w sytuacjach zagrożeń militarnych, które w ostatnich latach ponownie stały się aktualne w naszej części Europy. Kwestie związane z koniecznością zwrócenia szczególnej uwagi na ewakuację osób z niepełnosprawnością oraz osób starszych zostały

wskazane w ustawie o ochronie ludności z 5 grudnia 2024 roku (Dz.U. 2024 poz. 1907, 2024), rozporządzeniu w sprawie ewakuacji ludności oraz zabezpieczenia mienia z 30 maja 2025 roku (Dz.U. 2025 poz. 765, 2025) jak i Programie Ochrony Ludności i Obrony Cywilnej 27 maja 2025 roku (Monitor Polski 2025 poz. 541, 2025). Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 1 lipca 2025 roku, dotyczące eksploatacji obiektów zbiorowej ochrony wskazuje wprost na konieczność wyposażenie tego rodzajów obiektów w nosze i krzesła ewakuacyjne (MSWiA, 2025a). Powyższe jest potwierdzeniem, że świadomość związana z problematyką ewakuacji wspomaganej i zarządzania tym procesem wzrasta, a jej realizacja bez odpowiedniego sprzętu ewakuacyjnego nie jest możliwa. W standardzie Narodowego Stowarzyszenia Ochrony Przeciwpożarowej NFPA¹ 101 z 2024 roku (*NFPA 101. Life Safety Code*, 2024) oraz w przewodniku NFPA dotyczącym ewakuacji osób z niepełnosprawnościami z 2024 roku (*Emergency Evacuation Planning Guide for People with Disabilities*, 2022) wskazano, że krzesła ewakuacyjne są jednym z wyrobów umożliwiających ewakuację ludzi z obszarów bezpiecznego oczekiwania do miejsca bezpiecznego lub na zewnątrz budynku.

W najbliższych latach począwszy już od tego roku, będą projektowane i następnie budowane nowe obiekty ochrony zbiorowej, ponieważ ich liczba w Polsce, jak wskazuje raport NIK z 2024 roku, jest bardzo mała tzn. w Polsce na miejsce w budowlach ochronnych mogło liczyć niecałe 4% mieszkańców (od 0,3% do 9% mieszkańców w poszczególnych województwach) przedstawia Rysunek 2.

¹ NFPA czyli Krajowe Stowarzyszenie Ochrony Przeciwpożarowej (ang. National Fire Protection Association) to organizacja non-profit z siedzibą w Stanach Zjednoczonych. NFPA jest wiodącym autorytetem w zakresie standardów i kodeksów bezpieczeństwa pożarowego.



Rysunek 2. Procentowe zestawienie miejsc w budowlach ochronnych w stosunku do liczby mieszkańców danego województwa w 2021 r. (źródło: (NIK, 2024)).

Alternatywnym miejscem, gdzie będą mogli ewakuować się ludzie w przypadku konfliktu zbrojnego są „Miejsca Doraźnego Schronienia”, które będą organizowane również w ramach już istniejących obiektów, w kondygnacjach podziemnych (Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 9 lipca 2025 r. w sprawie warunków organizowania oraz wymagań, jakie powinny spełniać miejsca doraźnego schronienia (MSWiA, 2025b)).

W systematycznym przeglądzie dostępnej wiedzy na temat miejsc schronienia ludności cywilnej na wypadek użycia broni wybuchowej (Hansen *i in.*, 2025), które uwzględniało 74 dokumenty, w tym: wytyczne rządowe, podręczniki wojskowe, dokumenty ONZ, literaturę akademicką i publikacje organizacji pozarządowych zwraca się szczególną uwagę na brak wytycznych na poziomie międzynarodowym, sposobie zachowania się w tego typu sytuacjach i niedostateczne uwzględnianie potrzeb osób z niepełnosprawnościami. Stwierdzono, że konieczne jest uwzględnienie perspektywy humanitarnej i inkluzywności, projektując schrony dostępne dla wszystkich.

Szczegółnej uwagi w zakresie ewakuacji wspomaganej wymagają obiekty, w których liczba osób ze szczególnymi potrzebami w stosunku do liczby wszystkich osób w budynku jest większa niż w budynkach użyteczności publicznej. Takim obiektem jest np. szpital o czym piszą Barbera i współautorzy (Barbera, Yeatts i Macintyre, 2009), ale również dom pomocy społecznej czy domy dla osób starszych. Autorzy podkreślają, że szpitale stanowią krytyczny element systemu reagowania na katastrofy. Stanowią również główny element systemu mającego zapewnić ochronę oraz ratowanie życia

i zdrowia dla osób, w czasie wystąpienia zdarzeń o charakterze militarnym. Konieczne jest strategiczne podejście, inwestycja w infrastrukturę a także szkolenia. Jak wskazuje Fox i inni (2007) potrzeby osób z niepełnosprawnościami należy uwzględniać na każdym etapie działań w przypadku wystąpienia zdarzenia o charakterze katastrofy, począwszy od planów ewakuacji poprzez dostosowane do ich potrzeb ostrzeżenie czy działania ratownicze. W celu lepszego poznania potrzeb osób ze szczególnymi potrzebami to tak jak napisali Butler i współautorzy (2017) ważne jest, aby je zaangażować w projektowanie i testowanie sprzętów i rozwiązań w zakresie procesów związanych z ewakuacją.

Bez względu na rozmiar zjawiska niepełnosprawności w społeczeństwie, polityki publiczne powinny systemowo wdrażać zasady projektowania uniwersalnego (Connell *i in.*, 1997) i standardy dostępności. Powinno się to odbywać w środowisku zabudowanym, w zgodzie z normą PN-EN 17210 (2021); co jest wymagane ratyfikowaną przez Polskę Konwencją ONZ o prawach osób z niepełnosprawnościami (Dz.U. 2012 poz. 1169, 2006) oraz europejskimi wymogami, takimi jak Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (Europejski akt w sprawie dostępności, 2019).

W celu likwidacji barier, w tym barier architektonicznych, w 2019 roku wdrożono do Polskiego prawodawstwa tzw. Ustawę o dostępności (Dz.U. 2024 poz. 1411, 2024). Ustawę wprowadzono w celu poprawy warunków funkcjonowania osób ze szczególnymi potrzebami, ponieważ są one narażone na marginalizację lub dyskryminację z uwagi na niepełnosprawność czy obniżony poziom sprawności z powodu wieku albo choroby. Do prac nad projektem ustawy włączono środowisko osób z niepełnosprawnościami. Zaproponowane w ustawie rozwiązania są realizacją zapisów cytowanej Konwencji ONZ o prawach osób niepełnosprawnych, które obligują do zapewnienia osobom z niepełnosprawnościami dostęp do różnych obiektów na równi z innymi obywatelami (Dz.U. 2012 poz. 1169, 2006). Ustawa o dostępności w artykule 6 w pkt. 1 lit. e, wskazuje, że minimalne wymagania służące zapewnieniu dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami obejmują zapewnienie możliwości ewakuacji lub uratowania w inny sposób (Dz.U. 2024 poz. 1411, 2024).

Mimo obowiązku zapewniania dostępności w instytucjach publicznych, zapewnia ją jedynie niewielka ich część, na co wskazują np. raporty o stanie dostępności w muzeach

(Dziuba i in., 2015) czy w podmiotach publicznych (*Raport o stanie zapewniania dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami przez podmioty publiczne w Polsce według stanu na 1 stycznia 2021 r.*, 2021). Dokumenty te dostarczają informacji, że wiele obiektów nadal nie jest dostosowana do potrzeb osób ze szczególnymi potrzebami. Jest to kwestia złożona i wynika z wielu czynników, np. poważnych trudności technicznych, z braku funduszy czy obostrzeń wynikających z zabytkowego charakteru obiektu.

Nadal często kwestionowana jest potrzeba wdrożenia i zarządzania procesem ewakuacji wspomaganej w obiekcie. Jest to związane z nieprawdziwym twierdzeniem, że statystyki są zawyżone i w budynkach nie przebywa istotna liczba ludzi ze szczególnymi potrzebami. Ponadto wskazuje się w ramach tego mitu, że nawet jeśli dojdzie do takiej sytuacji to na pewno znajdzie się ktoś, kto pomoże w ewakuacji osobie, która nie może sama opuścić budynku i nie ma potrzeby zajmować się wcześniej tą problematyką. Aby rozprawić się z tym mitem można przytoczyć choćby dane zawarte w cytowanym wcześniej artykule pt. „Bezpieczna ewakuacja dla wszystkich – fakt czy fantazja? Doświadczenia z przeszłości, obecna wiedza i wyzwania na przyszłość” autorstwa Karen Boyce (2017), gdzie wskazano, że około z 1000 ocalałych z zamachu na WTC w 2001 roku, aż 6% stanowiły osoby, które miały „ograniczenia wpływające na ich zdolność do ewakuacji”, w tym niedawne operacje, urazy, otyłość, choroby serca, astmę, zaawansowany wiek i ciążę – najczęściej zgłaszano urazy i choroby przewlekłe. Dane dotyczące procentowego udziału osób z niepełnosprawnościami wśród wszystkich ewakuowanych zawarto w ukraińskiej monografii pt. „Działania jednostek SES Ukrainy w warunkach stanu wojennego” pod redakcją profesora Myroslava Kowala opublikowanej we Lwowie w 2023 roku (Kowal, 2023). Zgodnie z danymi jakie w niej zawarto w obwodzie donieckim po ewakuacji zakwaterowano 3 470 osób w tym 151 osób, które miały ograniczoną sprawność ruchową (ok. 4,4%). Podobne obserwacje dotyczą konfliktu w Strefie Gazy (2023–2024). Publikacje ONZ (*Children and armed conflict*, 2024) i WHO (Latif i in., 2025) wskazują, że tysiące osób ze szczególnymi potrzebami i chorobami przewlekłymi znalazły się w sytuacji, w której nie ma możliwości ewakuacji z powodu zniszczonej infrastruktury, schodów w budynkach mieszkalnych oraz braku odpowiedniego sprzętu transportowego. Fundusz Narodów Zjednoczonych na rzecz Dzieci (ang. *United Nations Children's Fund*, UNICEF) raportował, że dzieci

z niepełnosprawnościami były szczególnie narażone na pozostawienie w strefach działań wojennych (*State of Palestine*, 2025). Wiele rodzin było zmuszone podjąć dramatyczne decyzje dotyczące tego, kogo można zabrać w pierwszej kolejności. Dane te potwierdzają, że brak inkluzywnego planowania i zarządzania ewakuacją w warunkach konfliktu zbrojnego skutkuje drastycznym wzrostem śmiertelności i naruszeniami praw człowieka.

Potrzebę zarządzania procesem ewakuacji osób ze szczególnymi potrzebami w czasie pokoju dostrzega wiele organizacji i stowarzyszeń opracowujących wytyczne czy cytowane standardy, takie jak polska norma PN-EN 17210 (2021), standard NFPA 101 (2024) czy wytyczne Konfederacji Europejskich Stowarzyszeń Ochrony Przeciwpożarowej CFEPA 33:2024 (*Evacuation of people with disabilities*, 2024). Sam fakt ich publikowania nie wpływa jednak na realną poprawę sytuacji. Konieczne są wdrożenia, a to możliwe jest w wyniku zwiększenia świadomości społecznej.

Na świecie po zaistnieniu niebezpieczeństwa w budynku stosuje się dwie strategie postępowania. Jedną z nich jest zapewnienie możliwości przetrwania ludzi w budynku do czasu eliminacji niebezpieczeństwa lub do czasu ich uratowania przez profesjonalne służby ratownicze. Alternatywną strategią jest natychmiastowa ewakuacja do bezpiecznego miejsca wewnątrz budynku, do innego budynku lub najczęściej poza budynek. Taka ewakuacja może być spontaniczna, niekierowana lub wykorzystująca wcześniej przewidziane rozwiązania organizacyjne i sprzętowe (Zając, Sydor i Mrugańska, 2023). Zwykle jednak, po przybyciu profesjonalnych służb ratowniczych, proces ewakuacji ulega uporządkowaniu i jest kierowany (SCDF Code, 2024). Niezależnie od przebiegu ewakuacji zawsze wymagane jest zapewnienie możliwie krótkiego jego czasu, ewakuowanie wszystkich osób oraz przeprowadzenie tego procesu w sposób bezpieczny dla osób w niego zaangażowany. Istnieją dwie główne filozofie ewakuacji ludzi z budynków (SCDF Code, 2024):

- ewakuacja jednoczesna, w myśl której wszyscy ludzie są ewakuowani w tym samym czasie, niezależnie od zagrożenia, na jakie byli narażeni przed ewakuacją,
- ewakuacja fazowa/etapowa, kiedy początkowo ewakuowane są tylko osoby o podwyższonym ryzyku, pozostali pozostają na miejscu do późniejszego opuszczenia budynku.

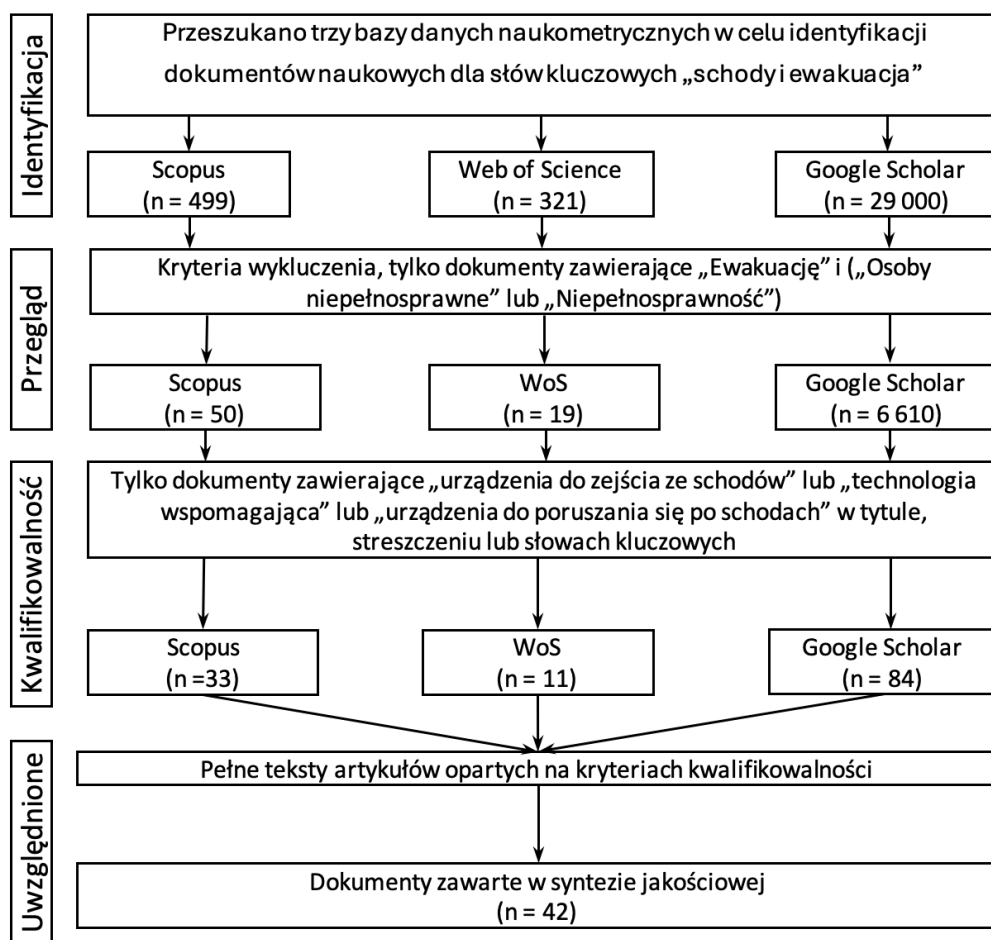
We wszystkich opisywanych warunkach ewakuacji zastosowanie znajduje sprzęt ewakuacyjny m. in. krzesła ewakuacyjne, materace ewakuacyjne. Tego typu urządzenia powinny być dobrane wg. potrzeb osób, które nimi będą ewakuowane, możliwości psychofizycznych osób, które będą ten sprzęt użytkować (operatorów) oraz być dostosowane do środowiska, infrastruktury, w której będzie realizowany proces ewakuacji wspomaganej (rodzaju budynku, obiektu, przestrzeni). Ponadto sprzęt ewakuacyjny powinien zostać ujęty w procedurach związanych z ewakuacją osób ze szczególnymi potrzebami w Instrukcji Bezpieczeństwa Pożarowego za której wdrożenie i opracowanie odpowiedzialny jest właściciel, zarządca obiektu (MSWiA, 2023). Nadrzędnym aktem prawnym do wskazanego rozporządzenia jest ustawa o ochronie przeciwpożarowej. Wskazano w niej art. 4 ust. 1 pkt. 4, że właściciel budynku, obiektu budowlanego lub terenu, zapewniając ich ochronę przeciwpożarową, jest obowiązany (zgodnie z art. 4 ust. 1a obowiązki te przejmuje zarządca obiektu lub osoba faktycznie nim władająca) zapewnić osobom przebywającym w budynku, obiekcie budowlanym lub na terenie, bezpieczeństwo i możliwość ewakuacji (Dz.U. 2025 poz. 188, 1991).

Posiadanie wiedzy jak zarządzać procesem ewakuacji wspomaganej nie jest wystarczające. Dopiero faktycznie jej wdrożenie może przynieść wymierne, pozytywne skutki. Jest to związane z kosztami, które zarządca obiektu musi zainwestować w bezpieczeństwo. Są to koszty jakie należy przeznaczyć na zakup sprzętu ewakuacyjnego, przeprowadzeniem szkolenia wdrażającego i okresowych oraz utrzymaniem sprzętu ewakuacyjnego w pełnej sprawności technicznej i funkcjonalnej.

1.2 Przegląd literatury tematu w bazach bibliograficznych

W celu identyfikacji luki poznawczej w zakresie ewakuacji osób ze szczególnymi potrzebami oraz poznania problemów jakie dostrzegają ludzie w czasie użytkowania sprzętu ewakuacyjnego klatką schodową, przeprowadzono analizę bibliometryczną literatury naukowej dotyczącej ewakuacji osób za pomocą krzesel ewakuacyjnych.

Rezultaty poszukiwania publikacji naukowych na temat urządzeń do ewakuacji osób klatką schodową w trzech bazach danych naukowych pokazano na Rysunku 3.

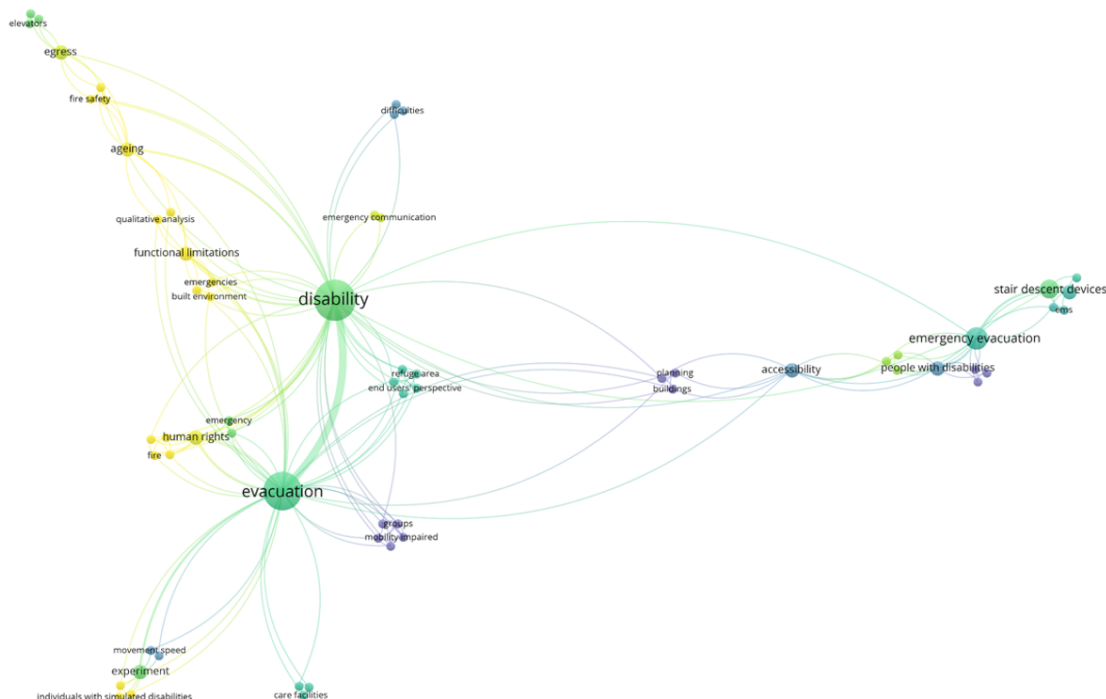


Rysunek 3. Schemat blokowy analizy literatury (opracowanie własne).

Jak można zauważyć na Rysunku 3, zapytanie w Scopus na podstawie słów kluczowych „schody i ewakuacja” w polach tytuł, abstrakt, słowa kluczowe (TITLE-ABS-KEY) zwraca 499 publikacji. Analogiczne zapytanie w polu „topic”, zwraca 321 z Web of Science Core Collection oraz około 29 tys. rekordów z Google Scholar. Mapę słów kluczowych z tych publikacji pokazano na Rysunku 4.

Mapa słów kluczowych wskazuje trzy główne obszary tematyczne publikacji naukowych na temat ewakuacji osób z budynków, obszar czerwony, obejmujący trzy główne słowa kluczowe „schody”, „pożar” i „czas ewakuacji” związany z zagadnieniami „czynnościowymi” obejmującymi problematykę sprawności ewakuacji dokonywanej w chwili zagrożenia pożarem (Hedman, 2011; Lavender *i in.*, 2012, 2013, 2014; Hunt, Galea i Lawrence, 2015; Kuligowski *i in.*, 2015b; Lavender, Jigna P. Mehta, *i in.*, 2015; Mehta *i in.*, 2015; Kwee-Meier *i in.*, 2016; Hamid, Wahyudiono i Soewandi, 2018; Hedman *i in.*, 2021; Szulc, Cisek i Król, 2022). Obszar błękitny, z głównymi słowami kluczowymi „zapobieganie wypadkom” i „budynki wysokie” dotyczy zagadnień właściwej aranżacji organizacyjnej wewnątrz budynków, tak żeby ewakuacja z nich przebiegała możliwie sprawnie (Koo *i in.*, 2013; Bukowski, 2016; Boyce *i in.*, 2017; Butler *i in.*, 2017; Zhang, 2017; Feliciani *i in.*, 2020; Bukvic *i in.*, 2021), trzeci wyróżniający się obszar słów kluczowych dotyczy „human factor”, charakterystyczne dla tego obszaru są słowa kluczowe „człowiek”, „mężczyzna” i „kobieta” (np. (Steen i Bergeron, 2017)).

Po identyfikacji źródeł literaturowych na temat ewakuacji osób z budynków zawężono analizę dokumentów wyłącznie do zagadnień dotyczących ewakuacji osób z niepełnosprawnościami z budynków. Kwerendę zawężającą przeprowadzono dodając trzecie wariantowe słowo kluczowe („niepełnosprawność*”). W efekcie uzyskano 50 dokumentów naukowych w Scopus. Dokonano przeglądu tych publikacji uzyskując listę 33 publikacji dotyczących wyłącznie ewakuacji osób z niepełnosprawnościami z budynków. Mapę słów kluczowych z tych 33 publikacji pokazano na Rysunku 5.



Rysunek 5. Zawężona problematyka ewakuacji dotycząca urządzeń do ewakuacji po schodach i (niepełnosprawność lub niepełnosprawności) (na podstawie 33 publikacji) (źródło: opracowanie własne).

Dane zawarte na Rysunku 5 wskazują, że w grupie tych 33 publikacji najczęściej łączone są pary słów ewakuacja i niepełnosprawność. Natomiast „urządzenie do ewakuacji” mają największą ilość połączeń z „ewakuacją awaryjną” i z „ems” (pomiar aktywności elektrycznej mięśni strażaków). Kolorami zaznaczono aktualność słów kluczowych. Ciekawym nowym wyrażeniem jest „prawa człowieka”, które wskazuje na łączenie prawa do ewakuacji dla wszystkich osób z prawami człowieka.

Po połączeniu wyszukiwań z trzech analizowanych baz danych (Scopus, Web of science i Google Scholar), po eliminacji duplikatów oraz po przejrzaniu zawartości publikacji lista publikacji dotyczących ewakuacji po schodach osób z niepełnosprawnościami za pomocą asystującej techniki wynosi 42. Analiza słów kluczowych tych publikacji pozwala stwierdzić, że urządzenia do ewakuacji osób z niepełnosprawnościami po schodach bywają nazywane w dokumentach naukowych jako: urządzenia do zejścia ze schodów, krzesło ewakuacyjne, krzesła ewakuacyjne, krzesło ratunkowe, urządzenie ratunkowe, system ewakuacji awaryjnej, sprzęt ewakuacyjny.

Przeprowadzona analiza bibliometryczna oraz badanie korelacji do polskiego prawodawstwa wskazuje, że obowiązek i potrzeba zapewnienia ewakuacji osób ze

szczególnymi jest faktem (Guylène i Joelle, 1996; Khvorost i Danova, 2020; Bukvic *i in.*, 2021; Hostetter i Naser, 2022; Lyu i Wang, 2025a). Znane są urządzenia jakie można wykorzystać do ewakuacji wspomaganej, jednak brakuje praktycznych rozwiązań w zakresie przeprowadzenia ewakuacji tzn. jak ją realizować, jak rozmieszczać sprzęt i ile powinno go być w budynku, jakie czynniki jakościowe sprzętu są istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa i komfortu użytkownika, jakie czynności należy wykonać w całym procesie ewakuacji a nie tylko w czasie poruszania się w dół po schodach oraz co równie ważne, jakie to może generować koszty w cyklu życia produktu dla zarządcy obiektu.

Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury zaobserwowano lukę poznawczą w zakresie braku danych nt. wpływu ewakuacji wspomaganej (krzesłem ewakuacyjnym, matercem ewakuacyjnym) na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku. Brak jest jednoznacznych czynników jakościowych, które mają wpływ na bezpieczeństwo użytkownika, jego zdrowie w tym konsekwencje związane z użyciem sprzętu ewakuacyjnego. Nieznane są również koszty jakie musi ponieść zarządca obiektu chcący zapewnić dostępność ewakuacji.

1.3 Przedmiot i podmiot badań

Przedmiotem badań opisywanych w niniejszej rozprawie doktorskiej są koncepcje, metody, techniki oraz narzędzia doskonalenia procesu ewakuacji wspomaganej oraz ich oddziaływanie na zarządzanie procesem ewakuacji oraz budynkiem użyteczności publicznej.

Podmiotem badań są ludzie związani z procesem ewakuacji wspomaganej:

- osoby bezpośrednio związane z procesem ewakuacji: operator, ratownik, osoba ewakuowana,
- osoby odpowiedzialne za organizację procesu ewakuacji: właściciel, zarządca obiektu,
- podmioty odpowiedzialne za ich jakość tj. producent, organ nadzorujący zgodność wyrobów medycznych z wymaganiami, jednostka certyfikująca, oceniająca lub badająca wyrób.

1.4 Cel pracy

Nadrzędnym celem pracy była analiza i identyfikacja oraz ocena czynników jakościowych mających wpływ na polepszenie bezpieczeństwa i komfortu użytkownika, zarządzania procesem ewakuacji wspomaganej oraz poprawę jakości zarządzania budynkiem użyteczności publicznej.

Pierwszym celem pobocznym było zidentyfikowanie kluczowych czynników jakościowych wpływających na bezpieczeństwo, komfort i skuteczność użytkowania krzeseł ewakuacyjnych przez operatorów i osoby z ograniczoną mobilnością. Ponadto dostarczenie dzięki nim dodatkowych narzędzi umożliwiających zapewnienie, utrzymanie i kontrolę jakości przez producenta, organ nadzorujący czy jednostkę certyfikującą albo przeprowadzającą badania.

Drugim celem pobocznym była ocena znaczenia czynników jakościowych z perspektywy zarządcy obiektu w kontekście kosztów zapewnienia dostępności ewakuacji oraz efektywności organizacji procesu ewakuacji.

1.5 Problem badawczy

Studia literatury przedmiotu wykazały istnienie luki poznawczej w zakresie organizacji i zarządzania procesem ewakuacji wspomaganej od etapu opracowania zakupu sprzętu ewakuacyjnego, przez jego wdrożenie i utrzymanie w pełnej jakości technicznej i funkcjonalnej. Na tej podstawie sformułowano poniższy problem badawczy:

W jaki sposób ewakuacja wspomagana z użyciem sprzętu ewakuacyjnego wpływa na czas i zarządzanie procesem ewakuacji, bezpieczeństwo a także komfort użytkowników oraz jakie koszty musi ponieść zarządca budynku chcący zapewnić dostępność ewakuacji?

1.6 Pytania badawcze

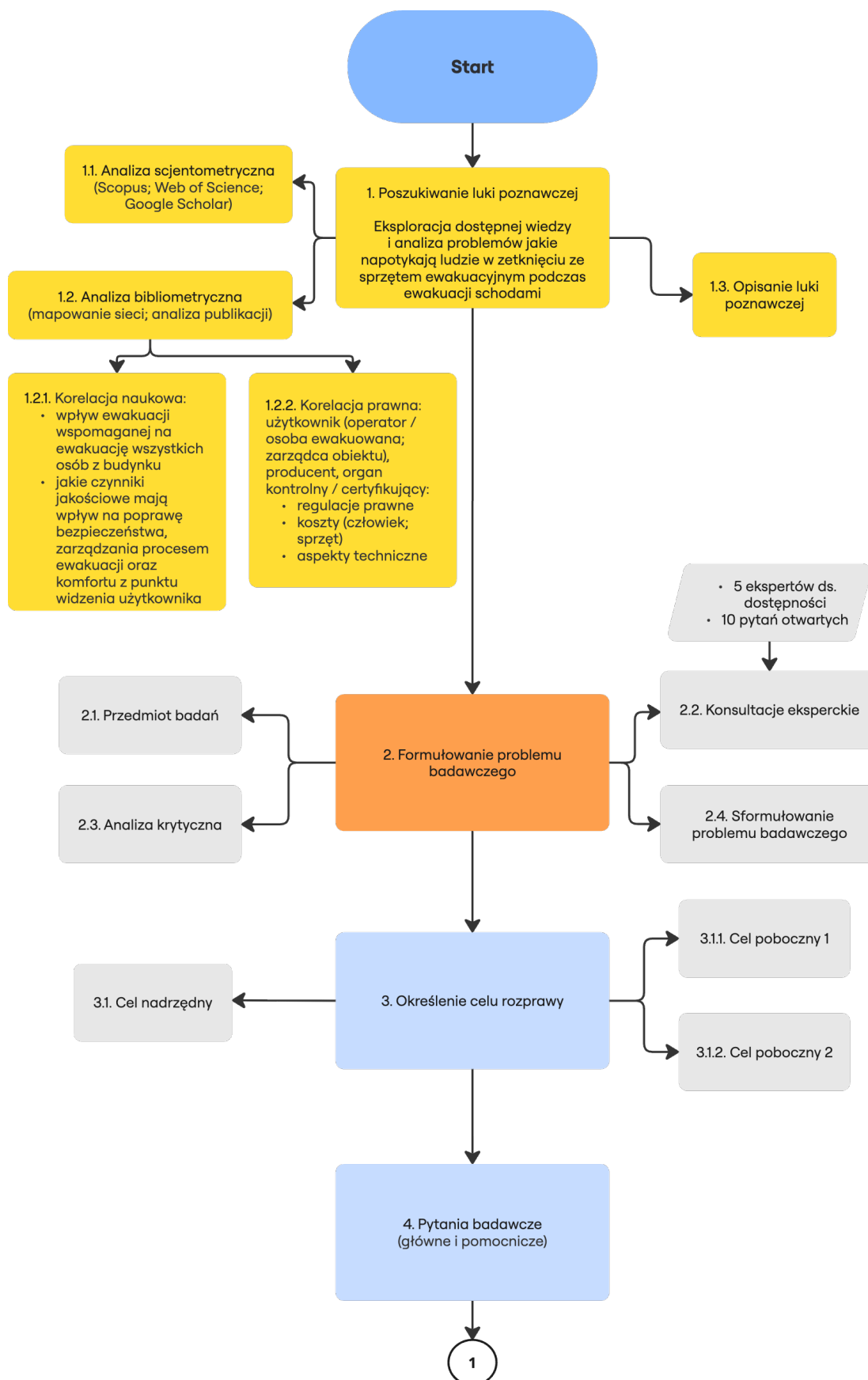
W realizacji celów rozprawy doktorskiej pomocne były następujące pytania badawcze:

- A. **Pytanie badawcze 1:** W jaki sposób rozmieszczenie i zastosowanie różnych typów urządzeń wspomagających ewakuację wpływa na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku, w tym osób z niepełnosprawnością?
- B. **Pytanie badawcze 2:** Jakie czynniki jakościowe sprzętu ewakuacyjnego wpływają na poziom bezpieczeństwa, komfort użytkownika?
- C. **Pytanie badawcze 3:** Jakie są rzeczywiste koszty wdrożenia systemu ewakuacji wspomaganej w budynkach użyteczności publicznej z uwzględnieniem zakupu, rozmieszczenia i cyklu życia sprzętu ewakuacyjnego?

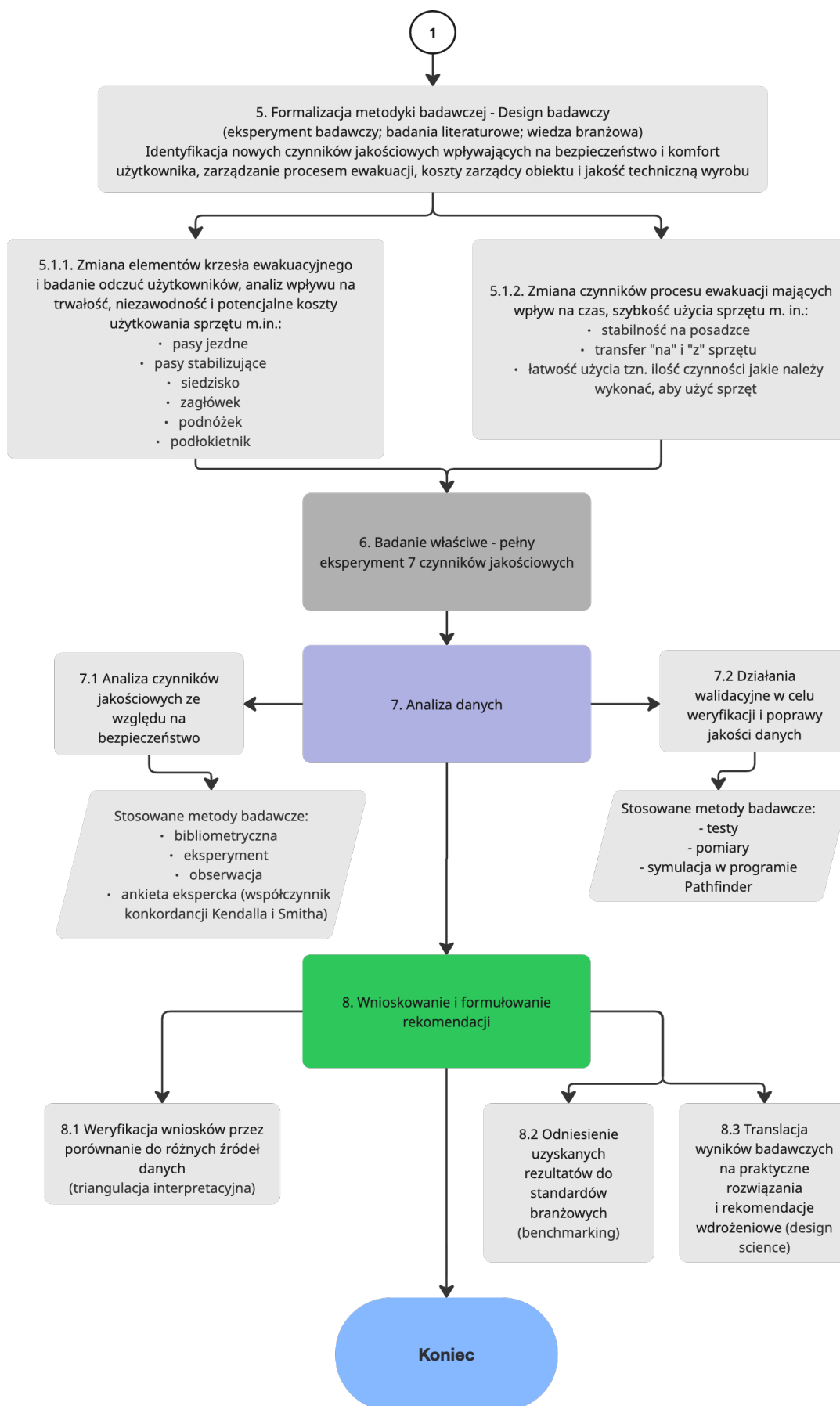
1.7 Metodyka realizacji pracy doktorskiej

1.7.1 Struktura rozprawy doktorskiej

Na podstawie zidentyfikowanej luki poznawczej, celu badań, problemu badawczego, przeglądu literatury i dostępnych metod naukowych została opracowana metodyka badawcza, jej schemat blokowy został przedstawiony na Rysunkach 6 i 7. Pierwsza z nich (Rysunek 6) prezentuje proces od startu i poszukiwania luki poznawczej, poprzez konsultacje eksperckie, aż po sformułowanie problemu badawczego, celu rozprawy oraz pytań badawczych na podstawie analizy literatury naukowej, stanu techniki oraz wiedzy eksperckiej. Drugi schemat (Rysunek 7) przedstawia dalsze działania. Przedstawia on formalizację metodyki badawczej, badania własne, analizę danych oraz wnioskowanie i formułowanie rekomendacji. Schemat wskazuje również, jak uzyskane wyniki są weryfikowane (np. poprzez triangulację danych), porównywane z istniejącymi standardami oraz przekładane na praktyczne rozwiązanie, którym jest autorska metodyka oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych. Szczegółowy opis metodyki rozprawy doktorskiej zawarto w sekcji 1.7 niniejszej rozprawy.



Rysunek 6. Schemat blokowy metodyki badawczej, cz. 1 (źródło: opracowanie własne).



Rysunek 7. Schemat blokowy metodyki badawczej, cz. 2 (źródło: opracowanie własne).

1.7.2 Opis postępowania badawczego

Opis postępowania badawczego charakteryzuje się ośmioetapowym podejściem przedstawionym na Rysunkach 6 i 7, łączącym metody analizy teoretycznej z badaniami empirycznymi.

Etap 1 polegał na identyfikacji luki poznawczej i formułowanie problemu badawczego. W ramach tego etapu wykonano zadania 1-4 pokazane na Rysunku 6. Prace rozpoczęto od analizy bibliometrycznej literatury naukowej, wykorzystując bazy danych takie jak Scopus, Web of Science i Google Scholar. Celem było zmapowanie sieci publikacji i identyfikacja dotychczasowych kierunków badań. W jej ramach przeprowadzono dwie kluczowe analizy korelacji:

- korelacja naukowa – badająca wpływ ewakuacji wspomaganej na bezpieczeństwo, komfort i koszty,
- korelacja prawna – analizująca przepisy i regulacje dotyczące ewakuacji, w tym kwestie odpowiedzialności i aspektów technicznych.

Następnie, w oparciu o ustaloną lukę poznawczą, sformułowano problem badawczy i pytania badawcze główne (wskazane w pkt. 1.6 rozprawy) i pomocnicze (skrót: PPB):

- A. **PPB1:** Jakie wymagania dotyczące dopuszczalnego obciążenia oraz wytrzymałości wskazano w normach technicznych dotyczących podobnego konstrukcyjnie oraz z uwagi na przeznaczenie sprzętu transportowego?
- B. **PPB2:** Jakie badania zostały wskazane w analizowanych normach w celu weryfikacji oczekiwanych czynników w zakresie dopuszczalnego obciążenia i wytrzymałości?
- C. **PPB3:** Czy metodyka badań uwzględnia obciążenia statyczne i dynamiczne czy tylko jedno z nich?
- D. **PPB4:** Czy wskazane metodyki badawcze uwzględniają czas użytkowania wyrobu, trwania testów i czy należy przeprowadzić dodatkowe badania uwzględniające również zmęczenie materiału, zużycie się podzespołów w długim czasookresie?
- E. **PPB5:** Czy badania uwzględniają użycie sprzętu zarówno do ewakuacji / transportu w dół i w górę po schodach?

- F. **PPB6:** Ile czasu zajmuje transfer na sprzęt ewakuacyjny w zależności od dostępnego jego rodzaju oraz sprzętu pomocniczego?
- G. **PPB7:** Czy zawsze możliwy jest transfer osoby na sprzęt ewakuacyjny przy wsparciu jednego operatora/ratownika?
- H. **PPB8:** Jaka jest różnica w czasie ewakuacji na krzesło ewakuacyjnym i materacu ewakuacyjnym, gdy klatka schodowa nie jest zajęta przez inne ewakuujące się osoby?
- I. **PPB9:** Jak jest różnica w czasie ewakuacji wszystkich osób z budynku, gdy klatką schodową jest prowadzona ewakuacja wspomagana (przy użyciu krzesła ewakuacyjnego lub materaca ewakuacyjnego) lub tylko ewakuacja osób poruszających się samodzielnie?
- J. **PPB10:** Czy rodzaj użytego sprzętu ewakuacyjnego (krzesła ewakuacyjnego, materaca ewakuacyjnego) ma wpływ na czas całkowitej ewakuacji ludzi z budynku?
- K. **PPB11:** Czy na szybkość ewakuacji wszystkich osób z budynku ma wpływ na której kondygnacji zostanie rozpoczęta i prowadzona ewakuacja wspomagana?

Kluczowym elementem na tym etapie były konsultacje eksperckie, w ramach których zebrano opinie pięciu ekspertów ds. dostępności, odpowiadając na dziesięć pytań otwartych (różnych od pomocniczych pytań badawczych), co pozwoliło na krytyczną analizę problemu badawczego z perspektywy praktyków.

Etap 2 to badania eksperymentalne i analiza danych (zadania 5-6 na Rysunku 7). Główną część tego etapu stanowił eksperyment czynnikowy, zaprojektowany i wykonany w celu zbadania wpływu siedmiu kluczowych czynników jakościowych na bezpieczeństwo i efektywność ewakuacji. Badania te koncentrowały się na dwóch grupach czynników:

- zmienne związane z konstrukcją krzesła ewakuacyjnego – takie jak rodzaje pasów jezdnych, stabilizatory, siedzisko, podnózek, zagłówek czy podłokietnik; analizowano ich wpływ na odczucia użytkownika oraz potencjalne koszty,
- zmienne związane z procesem ewakuacji – w tym stabilność pozycji osoby ewakuowanej, łatwość transferu "na" i "z" krzesła oraz łatwość użycia poszczególnych elementów sprzętu.

Dane badawcze pozyskano za pomocą różnorodnych metod, w tym:

- testów i obserwacji prowadzonych w warunkach rzeczywistych,
- symulacji komputerowych przy użyciu oprogramowania Pathfinder, co pozwoliło na ocenę wpływu zmiennych na szybkość ewakuacji.

W etapie 3 przeprowadzono wnioskowanie i walidację rezultatów (zadania 7-8 pokazane na Rysunku 7). Działania te polegały na weryfikacji zebranych danych, ich analizie i syntezie. W ramach analizy danych wybrano cztery najlepsze czynniki jakościowe. Następnie dokonano triangulacji interpretacyjnej, czyli porównano i dane pochodzące z różnych źródeł badawczych (analizy bibliometrycznej, ankiet eksperckich, eksperymentów). Uzyskane rezultaty odniesiono do branżowych standardów i dobrych praktyk.

Kończącym krokiem była transformacja wniosków badawczych w praktyczne rozwiązania, zgodnie z metodologią design science, które weryfikowano praktycznie i wdrażano w spółce EnSafe.

2 Przegląd literatury dotyczącej jakości i stanu techniki w zakresie krzeseł ewakuacyjnych

2.1 Pojęcie jakości w technice

Pojęcie jakości należy do fundamentalnych i jednocześnie najbardziej złożonych pojęć w naukach o zarządzaniu. Pomimo powszechnego użycia, jego wielowymiarowość i ewolucyjny charakter uniemożliwiają sformułowanie jednej, uniwersalnej definicji, która byłaby adekwatna dla wszystkich kontekstów. Jak zauważa Adam Hamrol, jakość nie ma charakteru absolutnego, lecz jest rezultatem konsensusu osiągniętego między podmiotami dokonującymi oceny (Hamrol, 2013).

Współcześnie, w warunkach nasilającej się konkurencji, jakość wyłoniła się jako strategiczny determinant przewagi rynkowej (Garvin, 1987). Jej rola wykracza poza tradycyjne rozumienie atrybutu produktu lub usługi, stając się kluczowym czynnikiem wpływającym na poziom zadowolenia klienta oraz budowanie jego lojalności. Tzw. „łańcuchowa reakcja Deminga” (ang. *Deming's Chain Reaction*) dobrze ilustruje, w jaki sposób jakość jest kluczowym elementem strategii konkurencyjnej (Deming, 2018). Tym samym, jakość stanowi podstawę do kreowania wartości dla klienta, co przekłada się na wzrost konkurencyjności i sukces ekonomiczny organizacji.

Pojęcie jakości sięga aż do starożytnej myśli filozoficznej. Przez wieki zmieniało swoje znaczenie, dostosowując się do nowych warunków społeczno-gospodarczych, co doprowadziło do jego obecnej, wielopłaszczyznowej definicji. Pierwsze definicje jakości pojawiły się w starożytnej Grecji. Platon, używając greckiego terminu „*poiotes*”, wskazywał jakość jako pewien subiektywny „poziom doskonałości”. Produkt niedoskonały był z założenia produktem słabej jakości, co sprawiało, że jakość utożsamiana była z perfekcją. To podejście opierało się na idealistycznym założeniu, że jakość jest cechą wrodzoną, którą można jedynie ocenić, a nie zmierzyć (Voegelin, 2009).

Inaczej do pojęcia jakości podszedł Arystoteles, który definiował jakość jako zbiór cech, które umożliwiały odróżnić jeden wyrób od drugiego. To podejście było fundamentem dla obecnych, obiektywnych i mierzalnych definicji. Skupienie się na specyficznych cechach, które charakteryzują dany produkt, umożliwiło zmianę w podejściu do jakości od subiektywnej oceny do obiektywnego jej opisu (Leśniak, 1965).

Adam Hamrol w monografii pt. Zarządzanie jakością Teoria i Praktyka (Hamrol i Mantura, 2015) wskazuje, że jakością nazywa się zbiór cech. Jest to zatem pojęcie, które można utożsamiać z nieograniczoną przestrzenią. Dla przedmiotu będzie to zbiór cech, które przynależą temu przedmiotowi.

Podjęcie do jakości produktów uległo zmianie w XIX i XX wieku. Można wyróżnić cztery fazy rozwoju poczynając od inspekcji jakości, przez statystyczne sterowanie jakością, następnie zapewnienie jakości aż do zarządzania jakością. Inspekcja jakości wdrożyła kontrolę końcową i jest uznawana za pierwszą próbę podjęcia w sposób systemowy do rozwiązania kwestii jakości w zakładzie. Inspektorzy byli odpowiedzialni za segregację wyrobów gotowych i odkładanie tych, które nie spełniały wymagań. Przyczyną częstych błędów w ocenie był brak lub nieprecyzyjne narzędzia pomiarowe, jak również niskie kompetencje pracowników. Jednocześnie inspektorów ustanowiono odpowiedzialnymi za jakość. W takiej sytuacji pracownicy produkcyjni mogli poczuć się zwolnieni z takiej odpowiedzialności. Takie postępowanie powodowało, że kontrola końcowa ograniczała ilość produktów wadliwych na rynku, ale jednocześnie podnosiła koszty produkcji.

W 1931 roku Walter Shewhart, zdefiniował jakość jako „dobroć produktu” (Shewhart, 1931). Opracował pierwszą kartę kontrolną. Wskazywał, że nie można poprawić jakości jedynie odrzucając wyroby wadliwe i należy zrozumieć a następnie kontrolować proces, w ramach którego są wytwarzane. W tym czasie rozwinęto kontrolę jakości, która była realizowana w czasie procesu produkcyjnego, a nie po jego zakończeniu (Shewhart, 1931). Postępowanie to miało ograniczyć do możliwego minimum stosowanie niewłaściwych półproduktów w produkcie końcowym. Wdrożono również pierwsze specyfikacje oraz instrukcje stanowiskowe. Agregowane w trakcie kontroli dane poddawano analizie z wykorzystaniem narzędzi statystycznych. Efektem tego było zmniejszenie kosztów produkcji z równoczesnym podniesieniem jakości produktu. Podjęcie to było jednak nie doskonałe. Pomimo, że podczas produkcji były wykrywane błędy projektowe, pracownicy produkcji nie mieli realnego wpływu na ich usunięcie i trwałe poprawienie jakości produkowanego wyrobu.

Jak wskazuje Sławomir Wawak (2018a) uwzględnienie jakości projektowania, podjęcie działań mających na celu eliminację powstawania błędów oraz większa

akceptacja wymagań klienta to główne osiągnięcia fazy zapewnienia jakości. Jednym z pierwszych, który na to zwrócił uwagę był Joseph Moses Juran, który rozszerzył pojęcie jakości, definiując je jako „przydatność do użycia”. Produkt powinien spełniać wymagania klienta w zakresie działania, bezpieczeństwa, niezawodności, ale również łatwości utrzymania, aby mógł być nazwany produktem jakościowym. Jego filozofia kładła nacisk na ludzki wymiar zarządzania jakością i również zwracał uwagę na rolę kierownictwa w systemowym rozwiązywaniu problemów. Twierdził podobnie jak Wiliam Edwards Deming, że większość problemów jakościowych – zakładał ok. 80% – wynika z błędów zarządzania, a nie z błędów pracowników. Dokonał on podziału na jakość w zakresie wykonania oraz jakość w zakresie projektowania. Wskazał również jak należy postępować, aby zaprojektować a następnie wdrożyć produkt, który będzie spełniał wymagania klienta. Zadaniem projektantów miało być przeniesienie wymagań klienta na specyfikacje techniczne, aby w konsekwencji zaprojektować i wdrożyć taki produkt, którego byłoby możliwe niezawodne wytwarzanie (Wawak, 2011). Koncepcja ta została uwzględniona w późniejszych normach ISO serii 9000 (Hoyle, 2001). Była również wskazywana przez polskiego badacza Romualda Kolmana (1992). Jako przykład można wskazać definicję, w której określa on jakość jako „zbiór wybranych właściwości interpretowanych jako wymagania potrzebne do realizacji zadań przewidzianych dla danego przedmiotu, czyli za stopień spełnienia stawianych wymagań”.

Postęp technologiczny i techniczny oraz zwiększenie roli klienta jaki wystąpił po II wojnie światowej spowodował dalsze zmiany w odniesieniu do jakości. W czwartej fazie rozwoju, zarządzaniu jakością, Wiliam Edwards Deming wskazał, że na jakość produktu gotowego istotny wpływ ma jakość pracy realizowanej przez kierownictwo. Deming, amerykański statystyk, był badaczem, który odegrał kluczową rolę w odbudowie japońskiej gospodarki po II wojnie światowej. Twierdził, że jakość nie jest tym co daje się klientowi tylko tym co on zrozumie i zaakceptuje (Deming, 2018). Przekonał menedżerów do możliwości jakie stwarzają metody statystyczne w przemyśle. Jego definicja jakości podkreślała jej ekonomiczny wymiar. Deming postrzegał jakość jako przewidywany, stopień jednorodności i niezawodności przy możliwie niskich kosztach wytworzenia i dopasowaniu do wymagań rynku. Uważał, że koncentrując się na jakości produktów doprowadzi to w dłuższej perspektywie czasowej do redukcji

kosztów, zmniejszenia strat około produkcyjnych i zwiększenia lojalności klientów. Jednocześnie podkreślał, że jakość wynika z systemu, za którego odpowiada kierownictwo zakładu. Deming opracował m. in. koncepcję cyklu PDCA (ang. *Plan-Do-Check-Act*). Jest to metoda, która polega na ciągłym doskonaleniu. Wymaga cyklicznego planowania zmian, następnie ich wdrażania i sprawdzania rezultatów a w przypadkach tego wymagających podjęcia działań korygujących. Deming, który był współpracownikiem Shewharta, w książce pt. „Wyjście z kryzysu” (ang. „*Out of the Crisis*”) jako pierwszy wskazał, że 94% problemów jakościowych wynika z systemu, a jedynie 6% z pracowników. Deming jako pierwszy wskazał, że za problemy z jakością odpowiada w ponad 90% przypadków system, a nie pracownik.

Zarządzanie jakością bazuje na osiągnięciach wcześniejszych podejść do jakości. Dag Kroslid (Kroslid, 1999) wskazał na dwie szkoły, które odegrały kluczową rolę w kształtowaniu zarządzania jakością: deterministyczną oraz ciągłego doskonalenia. Szkoła deterministyczna miała swój początek w tayloryzmie, standaryzacji jakości jaka została wdrożona w amerykańskim przemyśle zbrojeniowym zgodnie z ideą „Zero Defektów” Philipa Bayarda Crosby’ego. Koncepcja ta zakładała, że błędy są nieakceptowalne i głównym celem jest dążenie do perfekcji, angażując przy tym wszystkich pracowników organizacji na każdym jego szczeblu. Crosby wprowadził również definicję jakości jako „zgodności z wymaganiami”. Twierdził, że jakość jest darmowa, ponieważ koszt zapobiegania wadom jest istotnie niższy niż koszt ich naprawy czy utraty klienta (Crosby, 1979). Specyfikacje, procedury i standardy, a następnie ich dokładna realizacja to jej główne założenia. Z uwagi na to za doskonalenie jakości odpowiada w głównej mierze kadra kierownicza. Pochodną tej koncepcji są systemy zarządzania jakością zgodne z ISO 9001 („Systemy zarządzania jakością -- Wymagania”, 2016) czy Six Sigma (Pande, Neuman i Cavanagh, 2007).

Szkoła ciągłego doskonalenia bierze swój początek z koncepcji doskonalenia procesów Waltera A. Shewharta (Shewhart, 1931), Armanda V. Feigenbauma (Feigenbaum, 1991) oraz japońskiej koncepcji zarządzania jakością tzw. „Kontroli jakości w całej firmie” (ang. *Company-Wide Quality Control*) (Ishikawa, 1985). Głównym kierunkiem zwiększania jakości jest zaspokajanie zmieniających się wymagań i oczekiwań klienta. Jakość postrzegana jest jako proces zmienny, ale nie jako stan

wysokiej jakości tylko ciągłe doskonalenie procesów oraz nakierowanie na spełnianie potrzeb klienta z jednoczesnym dbaniem o możliwie niski poziom kosztów funkcjonowania (Bergman, 1994).

W ostatnich latach zachodzą widoczne zmiany w interpretacji pojęcia jakości produktu (Wawak, 2018b):

- A. Klient niejednokrotnie nie jest w stanie dokonać oceny jakości podczas zakupu i opiera się na udostępnionych źródłach informacji. Głównie są to materiały opracowane przez producentów, dystrybutorów czy sprzedawców i w mniejszym stopniu oceny użytkowników. Istotną trudnością w ocenie jakości produktów na etapie ich użytkowania jest co raz to większy poziom ich skomplikowania (np. miniaturyzacja wyrobów).
- B. Duże skrócenie czasu wprowadzenia nowych produktów do sprzedaży powoduje, że producenci mają bardzo ograniczony czas na ich testowanie. W usługach niejednokrotnie spotyka się improwizację oraz świadome „uczenie się na kliencie”.
- C. Wdrażanie przez producenta zmian mających na celu usunięcie wady produktu na etapie jego użytkowania nie jest już traktowane przez klientów jako oznaka niskiej jakości. Uważane jest to za odpowiedzialną postawę producenta. Klienci akceptują, że w pewnym okresie użytkują nie w pełni sprawny wyrób o ile zaspokojona jest jakaś inna ich potrzeba (np. akceptacja społeczna, bycie widzianym przez innych w określony sposób).
- D. Trwałość – do niedawna jedna z ważniejszych kryteriów oceny jakości – dla niektórych produktów straciła na znaczeniu z uwagi na szybkie zużycie moralne. Kupujący podążają za stosunkowo szybko zmieniającą się modą i wymieniają sprawne produkty na nowe. Ta sytuacja powoduje, że producenci świadomie stosują tańsze i mniej trwałe materiały. Kierują się z jednej strony ograniczaniem nadjakości dla pierwszego użytkownika, a z drugiej strony dążą do łatwiejszego wdrożenia na rynek nowszych wersji produktu (Skorupińska, Hitka i Sydor, 2024).

W odniesieniu do przytoczonych zmian, można zauważyć w jaki sposób następuje ewolucja postrzegania jakości w przedsiębiorstwach. Podejście dynamiczne stosowane jest w szczególności dla produktów, dla których przewiduje się modyfikacje

udoskonalające w trakcie użytkowania (np. naprawa błędów, dodawanie nowych funkcji). Koncepcja jakości oparta na zgodności ze specyfikacją pozostaje nadal istotnym podejściem m.in. w odniesieniu do produkcji. Należy również wskazać, że obecnie istotne jest również tworzenie wartości oraz spełnianie oczekiwań. Tworzenie wartości ma bezpośrednie powiązanie ze wskaźnikami ekonomicznymi m. in. z efektywnością i wydajnością. Spełnienie oczekiwań z kolei widoczne jest w rosnącym znaczeniu innowacyjności w taki sposób, że producenci nie tylko spełniają oczekiwania klienta, ale starają się odgadnąć jakie nieuświadomione potrzeby ma klient i jak ich produkt może je spełnić.

2.2 Ocena jakości produktów

David Alan Garvin wskazał osiem wymiarów jakości produktów (Garvin, 1987), a jednym z kluczowych jest wymiar funkcjonalny. Odnosi się on do tego, w jakim stopniu dany produkt spełnia zakładane funkcje i oczekiwania klienta w praktyce. W tym rozumieniu liczy się przede wszystkim efektywność i skuteczność działania produktu oraz jego zgodność ze specyfikacją techniczną. Garvin podkreśla też, że jakość funkcjonalna nie może opierać się wyłącznie na subiektywnych odczuciach klienta, tylko musi mieć wymiar mierzalny i obiektywny. Joseph Moses Juran i Albert Blanton Godfrey (Juran i Godfrey, 1999a) także podkreślają, że jakość funkcjonalna to głównie zdolność produktu do realizowania zakładanych funkcji zgodnie z wymaganiami użytkownika oraz normami technicznymi. Nowsze badania wskazują również na duże znaczenie jakości wizualnej opakowań produktów w subiektywnej ocenie konsumentów (Grobelny i Michalski, 2017).

W obszarze usług jakość funkcjonalna ma szczególne znaczenie w kontekście sposobu realizacji usługi. Parasuraman, Zeithaml i Berry (Parasuraman, Zeithaml i Berry, 1985), wyróżnili wymiar „performance” jakości usług. Według badawczy aspekt funkcjonalny jakości jest rozpatrywany jako rzeczywiste wykonanie usługi względem oczekiwań klienta. Zwrócili uwagę na to w jaki sposób dostarczana jest usługa, ale również na interakcję między użytkownikiem a dostawcą usługi (Parasuraman i Berry, 1990). Dla klienta ważna jest relacja jaką buduje z dostawcą oraz doświadczenia płynące z całego procesu (Zeithaml, Berry i Parasuraman, 1993).

Cronin i Taylor również określają jakość funkcjonalną jako podejście w sposobie dostarczania usługi i jej odbioru przez użytkownika, z naciskiem na proces świadczenia usługi i interakcję (Cronin i Taylor, 1992). Ma to bezpośredni związek z oczekiwaniami użytkownika w zakresie kompetencji, rzetelności co ma duże znaczenie na lojalność i zadowolenie klientów.

Zeithaml, Parasuraman i Malhotra rozszerzyli pojęcie jakości funkcjonalnej na usługi elektroniczne (Zeithaml, Parasuraman i Malhotra, 2002). Obecnie stało się to bardzo istotne dla większości producentów (nie tylko usług elektronicznych), ponieważ dla wielu wyrobów powstają instrukcje, różnego rodzaju opisy i informacje w formie elektronicznej czy to umieszczane na stronie internetowej czy w dedykowanej aplikacji. Kluczowe stało się to jak szybko dostarczana jest informacja lub następuje uruchomienie serwisu czy jaka jest intuicyjność interfejsu.

Cytowany David A. Garvin odróżnia jakość percepcyjną od funkcjonalnej, wskazując, że jakość percepcyjna odnosi się do odczuć i ocen klienta, a jakość funkcjonalna jest obiektywnym spełnieniem sprecyzowanych wymagań technicznych (Garvin, 1984a). John S. Oakland analizując zarządzanie jakością w przedsiębiorstwach, wskazuje podobnie jak Garvin, że jakość funkcjonalna to kryterium zgodności wszystkich parametrów wyrobu z określonymi wymaganiami oraz możliwością wykonania zaprojektowanych funkcji (Oakland, 2013).

William Edwards Deming istotnie zwraca uwagę, że jakość funkcjonalną należy mierzyć i kontrolować w całym cyklu życia produktu, co zapewnia ciągłe doskonalenie procesu produkcyjnego, sprawiając że wyrób będzie niezawodny i użyteczny (Deming, 2018).

W literaturze naukowej zostało wskazanych wiele metod i narzędzi umożliwiających pomiar jakości funkcjonalnej produktów i usług. Ich dobór zależny jest od branży, jej specyfiki, oczekiwań klientów i rodzaju produktu lub usługi.

Garvin podkreśla, że jakość funkcjonalną należy oceniać za pomocą miar obiektywnych, pozwalających na wyznaczenie stopnia, w jakim wyrób spełnia swoje funkcje. Taką miarą jest wskaźnik efektywności (np. szybkość działania), wskaźnik niezawodności (np. średni czas bezawaryjnej pracy) czy zgodności z wymaganiami

technicznymi i standardami (Garvin, 1987). Armand Vallin Feigenbaum zwraca uwagę na statystyczne metody jakości, korzystanie z kart kontrolnych i testów funkcjonalnych. Wskazuje, że kluczowa jest identyfikacja krytycznych czynników mających wpływ na efektywność działania wyrobu (Feigenbaum, 1991).

Dla badań w odniesieniu do usług Parasuraman, Zeithaml i Berry wprowadzili narzędzie „SERVQUAL” umożliwiające pomiar rozbieżności między oczekiwaniami użytkownika a jego percepcją rzeczywistej jakości usługi. Wymiar funkcjonalny w tym modelu odpowiada jakości realizacji usługi a proces pomiaru realizowany jest na podstawie odpowiedzi klientów na pytania dotyczące ich doświadczeń (Parasuraman, Zeithaml i Berry, 1985).

Cronin i Taylor do oceny jakości usług rekomendują metody ilościowe, ponieważ pozwalają wyodrębnić elementy funkcjonalne oceny jakości, bazujące na danych empirycznych z ankiety (Cronin i Taylor, 1992).

Jakość funkcjonalna jest jednym z najważniejszych wymiarów jakości jednak jej pomiar i zarządzanie stwarza wiele wyzwań. Jednym z nich jest rozdźwięk pomiędzy obiektywną funkcjonalnością wyrobu a subiektywnym zdaniem, odczuciem klienta. Garvin wskazuje, że użytkownicy często mają różne oczekiwania co do funkcjonalności produktu i czasami postrzeganie przez nich wyrobu może nie odzwierciedlać rzeczywistej jakości funkcjonalnej (Garvin, 1984a). Stąd też warto korzystać z narzędzi łączących ocenę obiektywną z subiektywną, jak np. badania jakościowe czy metod mieszanych (ang. mixed-methods) (Creswell i Plano Clark, 2018). W branży usługowej, w szczególności w usługach elektronicznych, które rozwijają się bardzo dynamicznie i wkraczają w prawie każdy aspekt życia, wyzwaniem jest monitorowanie jakości interakcji i procesów, które choć trudne do jednoznacznego zmierzenia to są istotne dla jakości funkcjonalnej (Zeithaml, Parasuraman i Malhotra, 2002). Ciągłe zmieniające się oczekiwania klientów podążających za trendami dodatkowo komplikują ten proces.

W branży motoryzacyjnej jakość funkcjonalna jest krytyczna, gdyż dotyczy bezpieczeństwa, efektywności oraz niezawodności pojazdu. Juran i Godfrey wskazują, że aby zweryfikować zgodność pojazdu z wymaganiami należy przeprowadzić

kompleksowe testy funkcjonalne poszczególnych elementów i podzespołów jak silnik, układ hamulcowy czy systemy elektroniczne (Juran i Godfrey, 1999b).

W branży wyrobów medycznych, jakość funkcjonalna bezpośrednio przekłada się na możliwość prawidłowego wykonania procedur, skuteczność terapii czy dokładność diagnostyki. Joseph A. Cafazzo i współautorzy wskazują, że jakość funkcjonalna wyrobów medycznych odgrywa kluczową rolę w zakresie bezpieczeństwa pacjenta i zapewnienia odpowiedniego leczenia (Cafazzo *i in.*, 2012).

W badaniach naukowych coraz częściej zwraca się uwagę na potrzebę integracji jakości funkcjonalnej z innymi wymiarami jakości, jak jakość emocjonalna i percepcyjna (Wang i Lo, 2002). Szybko rosnące znaczenie technologii cyfrowych spowodowało, że jakość funkcjonalną definiuje się w kontekście użyteczności oraz doświadczenia użytkownika tzw. UX (Zeithaml, Parasuraman i Malhotra, 2002).

Deming podkreśla, że poprzez stałe doskonalenie i monitorowanie jakości funkcjonalnej, w szczególności z zastosowaniem narzędzi analitycznych oraz statystycznych, pozwala przedsiębiorstwom na osiągnięcie przewagi konkurencyjną i lepiej dostosowywać się do potrzeb rynku (Deming, 2018).

Juran definiował jakość jako zdolność produktu lub usługi do spełniania celów użytkownika (ang. *fitness for use*) (Juran, 1992). Ta koncepcja bezpośrednio wiąże pomiar jakości z subiektywnymi oczekiwaniami klienta (przydatność do użytku) oraz z obiektywnymi cechami produktu (projekt i zgodność z projektem). To właśnie w tym ujęciu pomiar jakości wymaga jednoczesnego uwzględnienia obu perspektyw.

Jakość funkcjonalna jest podstawowym komponentem całokształtu jakości wyrobu lub usługi. Jest definiowana jako zdolność do realizacji zaplanowanych i oczekiwanych funkcji w taki sposób, aby spełnić wymagania techniczne i oczekiwania użytkownika (Parasuraman, Zeithaml i Berry, 1988). Jej pomiar wymaga zastosowania jednocześnie metod obiektywnych, jak również subiektywnych z uwzględnieniem specyfiki danej branży. Pomiar jakości funkcjonalnej stanowi wyzwanie z uwagi na różnorodność oczekiwań klientów i zmienność warunków użytkowania. Jakość funkcjonalna znajduje praktyczne zastosowanie w wielu branżach – od motoryzacji i elektroniki, przez usługi teleinformatyczne, po sektor wyrobów medycznych. Badania prowadzone w zakresie

jakości funkcjonalnej wskazują potrzebę integracji jej oceny z innymi wymiarami jakości i stałe doskonalenie procesów oraz wyrobów.

Ocena jakości produktów to proces systematycznego badania właściwości danego wyrobu, usługi lub procesu w odniesieniu do ustalonych i potwierdzonych kryteriów jakościowych (Juran i Godfrey, 1999a). Juran podkreśla, że bez jej oceny nie jest możliwe zarządzanie jakością. Wskazuje, że ocena jakości dostarcza informacji o aktualnym stanie i umożliwia podejmowanie decyzji w zakresie potencjalnych działań korygujących (Juran i Godfrey, 1999a).

Międzynarodowa norma ISO 9000:2015 definiuje ocenę jakości jako „całość działań mających na celu pomiar, testy i inne czynności służące określeniu zgodności zestawu właściwości z wymaganiami”. Zgodnie z tą definicją ocena jakości jest procesem potwierdzającym, czy dany wyrób spełnia określone standardy tzn. czy jest zgodny z oczekiwaniami użytkowników, rynku oraz normami branżowymi („Quality Management Systems: Fundamentals and Vocabulary”, 2015).

Garvin sklasyfikował pięć podejść do jakości, wśród których ocena jakości odpowiada podejściu „produkcyjnemu” i „użytkowemu”, zwracając uwagę na wymiar zgodności ze specyfikacją lub satysfakcją klienta. Ocena jakości jest punktem wyjścia do doskonalenia procesów oraz rozwoju produktowego przedsiębiorstwa (Garvin, 1984b).

Ocena jakości w organizacji spełnia kilka ważnych funkcji (Crosby, 1979; Deming, 2018; Oakland, 2013):

- zapewnienie zgodności – weryfikacja, czy dany produkt lub usługa spełnia wymogi formalne (specyfikacje, standardy techniczne i branżowe),
- identyfikacja problemów i defektów – ujawnianie niezgodności mogących wpływać na bezpieczeństwo, funkcjonalność czy satysfakcję użytkownika,
- monitorowanie procesów produkcyjnych i usługowych – zagwarantować powtarzalność i stabilność działań,
- informowanie o wynikach – dostarczanie wiarygodnych danych wspomagających decyzje zarządcze,

- podstawa do ciągłego doskonalenia – identyfikacja obszarów potrzebujących usprawnień,
- budowanie zaufania u klientów i interesariuszy – poprzez profesjonalną i transparentną ocenę jakości.

Deming podkreśla, że podstawą oceny jakości jest jej trwałe podnoszenie a jest to możliwe poprzez zintegrowanie z zarządzaniem systemowym i procesowym (Deming, 2018).

Proces oceny jakości zgodnie z niżej wskazaną literaturą może zostać podzielony na dziewięć głównych etapów, przy czym każdy musi być realizowany z naciskiem na obiektywność, dokładność i zgodność ze standardami (Oakland, 2013; Evans, 2024):

A. Określenie celu i zakresu oceny

Przed rozpoczęciem oceny należy jednoznacznie sprecyzować: co będzie oceniane (wyrób, usługa, proces), w jakim celu przeprowadzamy ocenę (certyfikacja, kontrola, poprawa itp.), dla kogo ją opracowujemy (kto jest odbiorcą wyników) oraz jakich efektów oczekujemy (użytkownicy, regulator, zarząd). Precyzyjna definicja celu umożliwia skoncentrowanie wysiłków i dobranie odpowiednich kryteriów (Drucker, 1974).

B. Ustalenie kryteriów jakości i wskaźników

Kolejny krok to zdefiniowanie wymagań i czynników jakościowych, które będą podstawą oceny. Kryteria na przykładzie Juran (Juran i Godfrey, 1999a): norm formalnych (np. PN-EN, ISO), specyfikacji technicznych, oczekiwań i potrzeb użytkownika i badań porównawczych. Ponadto należy wybrać wskaźniki jakości tj. mierzalne parametry, które umożliwiają obiektywną analizę, np. ilość wad na jednostkę, poziom satysfakcji klienta, czas realizacji.

C. Dobór metod i narzędzi oceny

Na podstawie rodzaju obiektu i wybranych kryteriów można wyselekcjonować odpowiednie metody i narzędzia oceny: metody ilościowe – testy laboratoryjne, pomiary, statystyczna kontrola jakości oraz metody jakościowe – inspekcje, audyty,

ankiety, wywiady. Dobór narzędzi jest strategiczny, bo wpływa na trafność i powtarzalność wyników (Parasuraman, Zeithaml i Berry, 1988; Montgomery, 2020).

D. Planowanie oceny

Opracowanie dokładnego planu realizacji oceny, który obejmuje: harmonogram działań, rozdział zasobów (sprzęt, personel), ustalenie odpowiedzialności, procedury postępowania i dokumentacji. Szczegółowe planowanie zapewnia zmniejszenie ryzyka popełnienia błędów oraz zwiększa efektywność (Evans, 2024).

E. Gromadzenie danych

Realizacja testów, obserwacji i pomiarów ze zwróceniem uwagi na: dokładność i rzetelność pomiarów, standaryzację procedur, zadbanie o spójność zebranych danych.

Przykłady metod gromadzenia danych to pomiary wymiarów, testy wytrzymałości, rejestracja wyników ankietowych (Flynn, Schroeder i Sakakibara, 1995).

F. Analiza danych i interpretacja wyników

Wykonanie analizy jakościowej lub statystycznej zebranych danych pozwala co najmniej na: określenie poziomu zgodności z kryteriami, identyfikację odchyleń i wad, określenie źródeł problemów (np. za pomocą diagramów Ishikawy). Aby zapewnić transparentność i obiektywność analizy zaleca się korzystać z narzędzi statystycznych jak testy hipotez czy analizy wariancji (Montgomery, 2020). W przypadku opracowywania analizy na potrzeby strategiczne, zarządcze jednym z uznanych narzędzi są Zrównoważone Karty Wyników (Kaplan i Norton, 2005). Umożliwiają mierzenie wyników w czterech powiązanych perspektywach: finansowej, klienta, procesów wewnętrznych oraz uczenia się i rozwoju. Równoważenie tych perspektyw pozwala zachować długoterminowy rozwój.

G. Raportowanie i dokumentowanie

Uzyskane wyniki oraz wnioski zapisuje się w formie raportu, który zawiera: opis przebiegu oceny, wyniki oraz ich interpretację, rekomendacje działań jakie należy wdrożyć w odniesieniu do wyników. Poprawnie przygotowana dokumentacja jest podstawą do m. in. audytów (PN-EN ISO 9001:2015-10 („Systemy zarządzania jakością - Wymagania”, 2016)).

H. Podejmowanie działań korygujących

Wyniki oceny są podstawą do podjęcia decyzji o: usunięciu wykrytych wad, zmianie procesów produkcyjnych lub świadczenia usług czy zmianie procedur (Deming, 2018). Działania te są niezbędne w celu ciągłego doskonalenia jakości.

I. Monitorowanie i powtórna ocena

Proces oceny jakości wykonuje się cyklicznie a nie jednorazowo (Evans, 2024). Regularne ocena umożliwia: sprawdzić efektywność działań korygujących, podejmować działania w zakresie zmian i nowych wyzwań oraz zapewnić ciągłość jakości.

W celu oceny jakości stosuje się metody ilościowe i jakościowe.

Do metody ilościowej zalicza się kontrolę statystyczną procesów (SPC), która jest zbiorem narzędzi do monitorowania i kontrolowania procesu w czasie rzeczywistym. Jej zadaniem jest minimalizacja zmienności i eliminacja wad. Do tych narzędzi należą wykresy kontrolne czy analizy zdolności procesu. Metoda ta ma na celu zapobieganie powstawaniu defektów i nie skupia się tylko na kontroli końcowej.

Kolejną metodą ilościową są testy statystyczne i analityczne są to m. in.: testy hipotez w celu określenia czy dane różnice są statystycznie istotne, analizy wariancji (ANOVA) służące do sprawdzania wpływu różnych czynników czy korelacja i regresja do sprawdzania zależności między zmiennymi jakości.

Równie uznaną metodą ilościową jest metoda Six Sigma, która skupia się na doskonaleniu jakości przez ograniczenie defektów do poziomu od 3 do 4 na milion (Pande, Neuman i Cavanagh, 2007). W ocenie jakości stosuje narzędzia takie jak DMAIC (Definiuj, Mierz, Analizuj, Ulepszaj, Kontroluj, ang. Define, Measure, Analyse, Improve oraz Control), które krok po kroku prowadzi przez fazy poprawy jakości.

Do metod jakościowych zaliczamy przede wszystkim audyty i inspekcje jakości. Audyty to według ISO 19011 (2018) systematyczne, niezależne i dokumentowane procesy, które weryfikują zgodność działań z określonymi kryteriami. Inspekcje to z kolei czynności kontrolne sprawdzające poszczególne cechy produktu lub usługi (Oakland, 2013).

Inną metodą jakościową są np. opinie ekspertów, którzy oceniają jakościowo właściwości lub procesy. Z tą metodą jakościową łączy się metoda Delphi, która jest techniką gromadzenia opinii grupy ekspertów w cyklu rund pozwalających stopniowo dochodzić do konsensusu (Mahajan, Linstone i Turoff, 1976). Popularną metodą jest również analiza przyczynowo-skutkowa za pomocą Diagramu Ishikawy (rybiej ości). Jest to narzędzie wspierające etap analizy i podejmowania działań naprawczych. Wykorzystuje się go do systematycznej identyfikacji a następnie grupowania potencjalnych przyczyn problemów jakościowych (Ishikawa, 1985).

Przykładem wszechstronnego systemu samooceny jakości organizacji jest model Europejskiej Fundacji Zarządzania Jakością EFQM (ang. *European Foundation for Quality Management*). Model ten opiera się na siedmiu kryteriach, które dzielą się na dwie grupy: Potencjał/Wykonanie (*Enablers*) oraz Wyniki (*Results*). Do oceny każdego kryterium wykorzystuje się logikę RADAR (Wyniki, Podejścia, Wdrożenie, Ocena, Udoskonalenie – z ang. *Results, Approaches, Deployment, Assessment, Refinement*), która pozwala na systematyczne planowanie, wdrażanie, ocenianie i doskonalenie działań, co stanowi kluczowy element filozofii Kompleksowego Zarządzania Jakością (ang. *Total Quality Management, TQM*) (European Foundation for Quality Management, 2013).

Analiza wskazanej w tym rozdziale literatury pozwala wskazać wyzwania jakie są związane z oceną jakości:

- niejednokrotnie występują trudności w dokładnym zdefiniowaniu kryteriów jakości, w szczególności dla usług i produktów niematerialnych, gdy kryteria często są subiektywne i dynamicznie zmieniają się,
- subiektywna ocena jakości usług opierająca się na indywidualnych odczuciach użytkowników,
- zmieniające się warunki zewnętrzne i wewnętrzne procesów, które utrudniają stałość pomiarów (np. ograniczenie dostaw półproduktów, surowców z uwagi na zmiany geopolityczne, sezonowość, niestałość jakościowa surowców),
- ograniczenia czasowe i cięcia budżetowe, które powodują zmniejszanie zakresu i częstotliwości badań,

- opór organizacyjny względem zmian wynikających z wyników oceny.

Jednocześnie dostępnych jest coraz więcej narzędzi, aby przeciwdziałać wskazanym wyzwaniom. Zaliczyć do nich można kombinację metod jakościowych i ilościowych w celu uzyskania pełnego obrazu, wykorzystywanie nowoczesnych technologii pomiarowych i analitycznych (Big Data, AI) w celu zwiększania dokładności i zakresu oceny czy współpraca z klientami i interesariuszami, aby rozwijać praktyki oparte na ich potrzebach i oczekiwaniach.

Ocena jakości jest złożonym procesem i wymaga systematycznego podejścia. W celu otrzymania rzetelnych oraz miarodajnych danych rekomendowane jest zastosowanie różnorodnych metod i narzędzi. Należy uwzględnić specyfikę ocenianego produktu czy usługi i jego otoczenie. W literaturze rekomenduje się przeprowadzać ocenę jakości w sposób cykliczny, zintegrowany z systemem zarządzania jakością (Skorupińska, Hitka i Sydor, 2024). Takie postępowanie pozwala na ciągły rozwój oraz poprawę efektywności organizacji. Przedstawiony przegląd literatury wskazuje, że:

- jakość to złożone, ewoluujące pojęcie, które od starożytności (Platon, Arystoteles) zmieniało swoje znaczenie od subiektywnego do mierzalnego,
- rozwój zarządzania jakością przeszedł cztery fazy: definicję pojęcia, pomiar jakości, statystyczne sterowanie i całościowe zarządzanie jakością (TQM),
- kluczowi myśliciele jak Shewhart, Juran i Deming, wprowadzili rewolucyjne podejścia, podkreślając systemowy charakter jakości i rolę kierownictwa; Deming wskazał, że większość problemów wynika z błędów zarządzania,
- współczesna jakość jest strategicznym czynnikiem konkurencyjności, a jej ocena musi łączyć podejście techniczne (funkcjonalność) z subiektywnym (oczekiwania klienta),
- zarządzanie jakością wymaga cyklicznej, wieloaspektowej oceny, stosowania narzędzi statystycznych i ciągłego doskonalenia, by sprostać dynamice rynku i zmieniającym się potrzebom.

2.3 Zarządzanie jakością

Zarządzanie jakością produktów jest jednym z najważniejszych obszarów współczesnego zarządzania przedsiębiorstwem. Stanowi fundament dla skutecznego funkcjonowania i rozwoju organizacji w warunkach, gdy na rynku występuje silna konkurencja a wymagania klientów stale rosną (Hamrol i Mantura, 2015). W literaturze przedmiotu zarządzanie jakością definiuje się jako systematyczne i celowe planowanie, organizowanie, kierowanie a także kontrolowanie wszystkich działań i procesów w organizacji, których celem jest ustanowienie, utrzymanie i ciągłe podnoszenie jakości produktów oraz usług (Juran i Godfrey, 1999a).

Głównym punktem odniesienia przy definiowaniu zarządzania jakością są międzynarodowe normy ISO. Normy te w sposób formalny i spójny wskazują ramy systemów zarządzania jakością. Normy ISO akcentują, że zarządzanie jakością to nie pojedyncze działania czy inspekcje, tylko zintegrowany system działań, który składa się z planowania jakości, jej zapewnienia, kontroli oraz ciągłego doskonalenia. Kluczowe jego elementy to zaangażowanie kierownictwa, zarządzanie zasobami, monitorowanie i analiza procesów jakościowych (Hoyle, 2001).

Wymieniony wcześniej David Alan Garvin wskazuje zarządzanie jakością jako element strategiczny dla działalności przedsiębiorstwa. W książce pt. „Zarządzanie jakością: przewaga strategiczna i konkurencyjna” (ang. „Managing Quality: The Strategic and Competitive Edge”) (Garvin David A., 1988) wskazuje, że zarządzanie jakością jest nakierowane na osiągnięcie oczekiwań użytkowników oraz budowanie przewagi konkurencyjnej głównie przez wysoką jakość oferowanych wyrobów i usług. Garvin przedstawia siedem wymiarów jakości, które zarządzanie jakością powinno uwzględniać: zgodność, niezawodność, trwałość, cechy, estetyka, obsługa i zgodność z normami. Jego metodą na skuteczne zarządzanie jakością jest planowanie strategiczne, które powoduje, że kwestie jakości stają się nadrzędnym punktem decyzji biznesowych, a nie tylko przedmiotem kontroli produkcji (Garvin David A., 1988).

William Edwards Deming uznawany jest za ojca współczesnego zarządzania jakością. W cytowanej monografii pt. „Wyjście z kryzysu” (ang „Out of the Crisis”) podkreślił, że zarządzanie jakością należy realizować jako kompleksowy system oparty na ciągłym

doskonaleniu – opisał proces, który nazwał cyklem PDCA, Planuj-Rób-Sprawdzaj-Działaj (ang. Plan-Do-Check-Act):

- planowanie (Plan): ustalenie celów i procesów niezbędnych do osiągnięcia wyników zgodnych z oczekiwaniami użytkownika,
- wykonanie (Do): realizacja zaplanowanych działań i procesów,
- sprawdzenie (Check): monitorowanie i ocena wyników w odniesieniu do celów,
- działanie (Act): wdrażanie działań korygujących i doskonalących.

Deming proponował również, aby w zarządzanie jakością oraz budowanie kultury organizacyjnej, w której jakość jest priorytetem, było w pełni zaangażowane najwyższe kierownictwo (Deming, 2013). Jego tak zwane 14 punktów zarządzania jakością określa podstawowe zasady m.in. rezygnacji z arbitralnych decyzji na rzecz danych, unikania polityki krótkotrwałych zysków kosztem jakości, szkolenia i otwartej komunikacji (Deming, 2018).

Juran w swojej teorii (Juran, 1992) jednoznacznie rozgranicza trzy podstawowe procesy zarządzania jakością: planowanie jakości, kontrola jakości i doskonalenie jakości. Juran uważa, że skuteczne zarządzanie jakością wymaga:

- planowania jakości: wskazania celów jakościowych i opracowania procesów pozwalających je osiągnąć,
- kontroli jakości: monitorowania procesów i wyrobów, aby móc identyfikować odchylenia od wymagań i następnie je eliminować,
- doskonalenia jakości: stałej poprawy procesów produkcyjnych i usługowych w celu podnoszenia poziomu jakości.

W swoim modelu Juran duży nacisk kładzie na cele jakościowe, które należy mierzyć i rewidować na podstawie danych i analiz statystycznych.

Z kolei idea TQM zaproponowana przez Armandą Vallina Feigenbauma (Feigenbaum, 1991) oraz Kaoru Ishikawę (Ishikawa, 1985), a następnie rozwijana przez Oaklanda (Oakland, 2013), wskazuje holistyczne podejście zgodnie z którym wszyscy pracownicy na każdym szczeblu organizacji są zaangażowani w procesy podnoszenia jakości. Podstawowe elementy TQM to:

- zaangażowanie kierownictwa i przywództwa,
- ukierunkowanie na zaspokojenie potrzeb oraz oczekiwań klientów, czyli skupienie na kliencie (ang. *Customer Focus*),
- praca zespołowa i rozwój pracowników,
- podejście procesowe do zarządzania jakością,
- ciągłe doskonalenie i innowacje,
- zarządzanie na podstawie faktów i danych.

Model TQM przenosi zarządzanie jakością na poziom kultury organizacyjnej, gdzie poprawa jakości dotyczy każdego aspektu działalności, a nie tylko końcowej kontroli wyrobów.

Hammer i Champy w koncepcji reengineeringu (reinżynierii procesów biznesowych) (Hammer i Champy, 1993) wskazują, że w celu skutecznego zarządzania jakością należy skupić się na procesach biznesowych jako podstawowych jednostkach organizacji. Zarządzanie jakością zmienia się zatem w zarządzanie procesami, które są analizowane, optymalizowane i reorganizowane w celu zwiększenia ich jakości, wydajności i elastyczności.

Philip Bayard Crosby zdefiniował zarządzanie jakością jako zarządzanie precyzją i zapobieganiem błędom. Crosby wskazuje, że koszty jakości są wydatkami na zapobieganie błędom i w długim terminie są zdecydowanie niższe niż koszty potencjalnych błędów i niezgodności (Crosby, 1979). Zarządzanie jakością według Philipa B. Crosby'ego opiera się na czterech zasadach:

- jakość to zgodność z wymogami,
- brak wad jest celem,
- koszt jakości to koszt niezgodności,
- system zero-wad.

Crosby akcentuje zapobieganie powstawaniu niezgodności, wad, co wyróżnia jego podejście spośród tradycyjnych systemów opartych na kontroli końcowej.

Zarządzanie jakością, jak podkreślają Besterfield i współautorzy (2018), to również implementacja narzędzi i technik wspierających procesy zapewnienia i kontroli jakości. Narzędzia te obejmują m.in. diagramy przyczynowo-skutkowe (diagram Ishikawy) (Ishikawa, 1985), analizę Pareto (Pareto, 1896), wykresy kontrolne czy metody statystycznej kontroli procesów (SPC) (Shewhart, 1931). Te metody umożliwiają identyfikację niezgodności i skuteczniejsze przeprowadzenie działań naprawczych oraz im zapobieganie (Besterfield, 2009).

W literaturze często podkreśla się, że zarządzanie jakością wymaga tworzenia odpowiedniej kultury organizacyjnej, gdzie jakość jest wartością wspólną (Ulewicz i Nový, 2019). Organizacja powinna promować wśród pracowników otwartość informacji, współpracę między działami firmy oraz świadomość jakości. Kultura ta przekłada się bezpośrednio na efektywność systemu zarządzania jakością i wdrażania procesów ciągłego doskonalenia.

Cytowany Juran, jeden z pionierów zarządzania jakością, podkreślał, że jakość jest efektem systematycznego planowania. W swojej pracy pt. „Juran's Quality Control Handbook” wprowadził koncepcję Trylogii jakości, na którą składają się: planowanie jakości, kontrola jakości i doskonalenie jakości (Juran, 1951). Jest to podejście, które kładzie nacisk na integrację procesów zarządzania jakością z całością funkcjonowania przedsiębiorstwa. Franciszek Mroczko również wskazuje, że zarządzanie jakością jest integralną częścią systemu zarządzania organizacją, w której priorytetem jest klient i ciągłe doskonalenie procesów, produktów oraz usług (Mroczko, 2012). Karlicki podnosi istotę podejmowania świadomych decyzji a w następstwie ich działań na każdym szczeblu przedsiębiorstwa jako elementu efektywnego zarządzania jakością (Borkowski, 2005). Z kolei Genichi Taguchi (1993) oraz James Harrington (1991) podkreślają, że zarządzanie jakością należy powiązać z metodami inżynierskimi i technikami innowacji, które umożliwiają projektowanie produktów i usług o optymalnej odporności na zmienność i wady (Taguchi, 1993). Zarządzanie jakością jest nie tylko funkcją kontrolną, ale również kreatywną, wspierającą rozwój organizacji (Harrington, 1991).

Współczesne zarządzanie jakością uwzględnia również aspekty ekonomiczne nakierowane na optymalizację kosztów jakości oraz korzyści jakie daje budowanie pozytywnego wizerunku i satysfakcji klienta. Społecznie zarządzanie jakością wpływa na

poprawę warunków pracy, bezpieczeństwa oraz właściwości środowiskowe wyrobów i usług (Bicheno i Holweg, 2016).

Zarządzanie jakością jest szerokim, wielowymiarowym oraz interdyscyplinarnym obszarem wiedzy i praktyki, której integrowanie w strategiczny i systemowy sposób przyczynia się do jakościowego wzrostu organizacji. Składa się ono z planowania, organizowania, kierowania i kontrolowania wszystkich działań jakie są związane z realizacją określonych wymagań jakościowych. Istotne jest nieustanne usprawnianie procesów oraz zaangażowanie personelu na każdym szczeblu organizacji. W literaturze naukowej zwraca się uwagę, że nie jest tylko narzędziem kontrolnym, ale jest to metoda zarządzania połączonego z kulturą organizacyjną, zaawansowanymi metodami analizy danych, procesami biznesowymi oraz orientacją na klienta.

Podejście do zarządzania jakością, opisane w cytowanej literaturze, ma kluczowe znaczenie dla oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych. Oprócz relatywnie prostego procesu kontroli produktu jakości obejmuje również ocenę procedur działania tego produktu w systemie i wymaga kompleksowego podejścia zgodnego z opisanymi teoriami.

2.4 Jakość w odniesieniu do krzesła ewakuacyjnego

Krzeseła ewakuacyjne są kluczowym elementem ewakuacji wspomaganej. Ich główną rolą jest umożliwienie szybkiego i kontrolowanego transportu w dół lub w górę klatki schodowej, minimalizując wysiłek ratowników oraz ryzyko upadku zarówno dla osoby ewakuowanej, jak i dla operatora („Evacuation chair”, 1985). Urządzenia te stanowią charakterystyczny element współczesnych systemów bezpieczeństwa w zakresie zarządzania jakością, w obszarze ewakuacji wspomaganej. Stosowane są w wielu budynkach użyteczności publicznej, budynkach zamieszkania zbiorowego, szpitalach, domach opieki społecznej, domach dla osób starszych, centrach handlowych czy obiektach sportowych i obiektach kultury (Branowski, Zabłocki i Pohl, 2011). Ich funkcja polega przede wszystkim na umożliwieniu ewakuacji osób ze szczególnymi potrzebami w sytuacjach zagrożenia, takich jak pożar, awaria techniczna czy inne sytuacje wymagające ewakuacji z obiektu (Zajac i Sydor, 2023).

Z perspektywy systemu bezpieczeństwa pożarowego, krzesła ewakuacyjne stanowią element wspierający możliwość poruszania się po drogach ewakuacyjnych i umożliwiają spełnienie obowiązku, o którym mowa w art. 6 ust. 1 lit. e ustawy o dostępności (Dz.U. 2024 poz. 1411, 2024), czyli zapewnienia możliwości ewakuacji lub uratowania w inny sposób wszystkich osób znajdujących się w budynku. W standardzie NFPA 101 z 2024 roku (*NFPA 101. Life Safety Code, 2024*) oraz w przewodniku NFPA dotyczącym ewakuacji osób z niepełnosprawnościami (*Emergency Evacuation Planning Guide for People with Disabilities, 2022*) wskazuje się, że krzesła ewakuacyjne są jednym z urządzeń umożliwiających przemieszczanie ludzi do obszarów bezpiecznego oczekiwania / obszarów pomocy ratowniczej (ang. *areas of refuge*), do innego miejsca bezpiecznego lub do wyjścia na zewnątrz obiektu (Cote, 1997; Hurley *i in.*, 2016).

Teoretycznie osoby ze szczególnymi potrzebami mogą poczekać w obszarach pomocy ratowniczej na uratowanie przez ratowników, którzy dotrą do obiektu. Należy jednak oddzielić oczekiwania, rekomendacje osób odpowiedzialnych za bezpieczeństwo pożarowe oraz osób zarządzających budynkiem od faktycznych zachowań ludzi w sytuacji, gdy zagrożone jest ich życie lub zdrowie. Według raportu Narodowego Instytutu Norm i Technologii (NIST, National Institute of Standards and Technology), podczas ewakuacji w związku z atakiem z 11 września 2001 r. na wieże World Trade Center, 51% osób znajdujących się w wieży nr 1 i 33% osób znajdujących się w wieży nr 2 stwierdziło, że osoby ranne lub z niepełnosprawnością utrudniały ewakuację na klatkach schodowych (Averill *i in.*, 2005). Wskazuje to na poważny problem z ewakuacją osób ze szczególnymi potrzebami i pokazuje, że obecność rannych lub niepełnosprawnych osób na drodze ewakuacyjnej może znacząco spowolnić, a nawet zablokować ewakuację wszystkich ludzi.

Warto podkreślić, że każda osoba ze szczególnymi potrzebami będąca stałym użytkownikiem budynków WTC brała udział w szkoleniu ewakuacyjnym. Obejmowały one ćwiczenia podczas których osoby te przemieszczały się do holu klatki schodowej, aby czekać na ratowników (Shields, Boyce i McConnell, 2009). Tak powinni postąpić także w przypadku zagrożenia zgodnie z procedurami i rekomendacjami. Jednak gdy doszło do zdarzenia (ataku na wieże WTC) w zależności od posiadanych możliwości, wszystkie osoby, które miały czekać w wyznaczonym miejscu na uratowanie,

podejmowały działania polegające na samoratowniu korzystając z pomocy współpracowników (Shields, Boyce i McConnell, 2009). Sytuacja ta potwierdza, że ratownicy, zarządca obiektu nie mogą zakładać, że osoby ze szczególnymi potrzebami będą oczekiwać na uratowanie w obszarze pomocy ratowniczej w sytuacji, gdy ich życie jest zagrożone a ich współpracownicy w tym samym czasie sami ewakuują się klatką schodową nie czekając na ratowników (Wang, Kyriakidis i Dang, 2021). Wskazuje to na konieczność takiego zorganizowania systemu ewakuacji z budynku, w którym możliwe jest uratowanie wszystkich osób jeszcze przed przybyciem służb ratunkowych. Z uwagi na osoby niepełnosprawne ruchowo, system taki powinien obligatoryjnie uwzględniać sprzęt ewakuacyjny, a zwłaszcza krzesła ewakuacyjne (Lyu i Wang, 2025b).

W literaturze światowej grupa urządzeń do których kwalifikowane są krzesła ewakuacyjne nazywana jest „emergency stair travel devices (ESTDs)” (urządzenia do awaryjnego poruszania się po schodach) lub bezpośrednio, gdy dotyczy to krzeseł ewakuacyjnych: „evacuation chairs” (Hedman, 2011). Pierwsze systemy ewakuacyjne dla osób ze szczególnymi potrzebami zaczęły pojawiać się w połowie XX wieku (Hale i Kenneth, 1966; Bowie i Sampson, 1979). Wraz z rozwojem stanu techniki w zakresie ochrony przeciwpożarowej, zaczęto dostrzegać potrzebę specjalistycznych urządzeń, które mogłyby ułatwić szybkie opuszczenie budynku przez osoby mające trudności z samodzielnym poruszaniem się. Istotny przełom nastąpił jednak pod koniec lat 80. XX wieku, kiedy to nowe technologie materiałowe umożliwiły produkcję lekkich i bardziej funkcjonalnych krzeseł ewakuacyjnych („Evacuation chair”, 1985). Wtedy zaczęto zwracać uwagę na ich jakość w odniesieniu do kilku bardzo podstawowych czynników jak masa, wytrzymałość konstrukcji. Zyskały na popularności i stały się wymagane lub rekomendowane w wielu normach, przepisach przeciwpożarowych oraz bezpieczeństwa i higieny pracy (BHP) (Butler *i in.*, 2017). Wydarzenia z 11 września 2001 r. (uratowanie m. in. Johna Abruzzo z 69 piętra z jednego z budynków World Trade Center) ugruntowały rozpoznawalność w praktyce krzeseł ewakuacyjnych – ich użycie i skuteczność została udokumentowana i wskazana w raporcie ze śledztwa prowadzonego przez NIST NCSTAR 1-7 (Averill *i in.*, 2005). Z naukowej perspektywy to właśnie ewakuacja osób z niepełnosprawnościami z wież World Trade Center z 11 września 2001 była impulsem do systematycznych badań empirycznych nad

zachowaniem się ludzi podczas ewakuacji, szybkości z jaką się poruszają, jak przebiega ewakuacja osób z ograniczoną mobilnością czy z jaką szybkością przemieszczane są osoby ewakuowane na różnego rodzaju sprzęcie ewakuacyjnym. Zaczęto też większą uwagę zwracać na wykonanie krzeseł ewakuacyjnych i określać wymagania jakościowe w zakresie stabilizacji na nim czy ergonomii użycia.

Na rynku dostępnych jest wiele rodzajów krzeseł ewakuacyjnych, które różnią się między sobą konstrukcją, przeznaczeniem i sposobem działania. Różnią się między sobą również jakością jak każdy inny produkt na rynku. Dostępne są tanie i niskiej jakości produkty o niepotwierdzonych właściwościach jak również wyroby o wysokiej jakości potwierdzonej badaniami i certyfikatami.

Najczęściej spotykane to krzesła ewakuacyjne na dwóch lub czterech stałych kołach. Klasyfikacja krzeseł ewakuacyjnych opiera się na mechanizmie transportu osoby ewakuowanej, konstrukcji krzesła ewakuacyjnego oraz sytuacji do jakiej krzesło ewakuacyjne jest przystosowane.

Krzesła ewakuacyjne na dwóch stałych kołach – jedne z pierwszych jakie zostały upowszechnione. Ten typ krzesła ewakuacyjnego został użyty podczas ewakuacji z World Trade Center 11 września 2001 r. Jego zaletą jest prosta konstrukcja, co przekłada się na relatywnie niską cenę tego wyrobu względem krzeseł ewakuacyjnych na czterech stałych kołach i krzeseł ewakuacyjnych z napędem elektrycznym. Ograniczeniem tego produktu jest głównie to w jaki sposób jest użytkowane, jakie czynności należy wykonać, aby go poprawnie użyć. Ponadto technika operowania tym krzesłem ewakuacyjnym wymusza na operatorze wychylenie krzesła ewakuacyjnego wraz z osobą ewakuowaną do przodu w celu zamknięcia / schowania ramy z tylnymi kołami, co może powodować u osoby ewakuowanej panikę, strach jak wskazują Glenn Hedman i współautorzy (Hedman *i in.*, 2021). Ten rodzaj krzesła ewakuacyjnego nie uwzględnia potrzeb użytkownika (osoby ewakuowanej) w zakresie komfortu i poczucia bezpieczeństwa. Opisywane krzesło pokazano na Rysunku 8.



Rysunek 8. Rodzaj krzesła ewakuacyjnego (na dwóch stałych kołach) użytego w testach zgodnie z danymi zawartymi w [59]; w badaniach własnych użyto takiego samego rodzaju krzesła ewakuacyjnego (prod. Evac+Chair, model 600H, źródło: (EVAC+CHAIR, 2025)).

Warto podkreślić, że ergonomia to nauka o projektowaniu środowiska pracy, sprzętu i zadań w taki sposób, aby były one optymalnie dopasowane do możliwości i ograniczeń człowieka (operatora i użytkownika) (Karwowski, 2005), dlatego współczesne krzesła ewakuacyjne powinny uwzględniać wymogi ergonomii.

Innym rodzajem krzesła ewakuacyjnego jest krzesło ewakuacyjne na czterech stałych kołach – obecnie jedno z bardziej popularnych rozwiązań głównie z uwagi na ergonomię i prostotę użytkowania zarówno dla operatora oraz osoby ewakuowanej (patrz Rysunek 9). Najczęściej spotykaną barierą w wyborze tego rozwiązania jest jego wyższa cena względem krzesła ewakuacyjnego na dwóch stałych kołach. Jego przewagą jakościową jest choćby to, że z punktu widzenia osoby ewakuowanej zapewnia większy komfort i poczucie bezpieczeństwa (z uwagi na swoją konstrukcję nie jest wychylane do przodu jak krzesło ewakuacyjne na dwóch stałych kołach tylko do tyłu, w kierunku operatora).



Rysunek 9. Krzesło ewakuacyjne na czterech stałych kołach użyte w badaniach (model FALCON 2.0, prod. EnSafe.One, Polska, źródło: (EnSafe.One FALCON evacuation chair, 2024)).

Krzesła ewakuacyjne z mechanizmem gwiazdowym są wyposażone w systemy kół o wspólnej osi obrotu, które umożliwiają jazdę po schodach w dół, ale i w górę bez konieczności przenoszenia osoby wraz z krzesłem ewakuacyjnym (Rysunek 10). W zakresie jakości wyróżnia go spośród innych krzeseł ewakuacyjnych rodzaj układu jezdnego – bardziej wytrzymały, ponieważ wykonany z kół gumowych. Drugi ważnym aspektem w zakresie jakości jest ergonomia przy ewakuacji w górę po schodach – nie musi ono być wynoszone jak inne krzesła ewakuacyjne z płozami, napędzane siłą ludzkich mięśni tylko operator wyjeżdża nim po schodach do góry. Jednocześnie ten układ napędowy posiada pewną wadę - ewakuacja w dół po schodach będzie prowadzona z mniejszą prędkością.



Rysunek 10. Krzesło ewakuacyjne z mechanizmem kół gwiazdowych (model RESCUE Shelter, źródło: EnSafe.One („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

Krzesła ewakuacyjne z napędem elektrycznym (Rysunek 11) – stosowane głównie w obiektach, gdzie konieczna jest ewakuacja w górę po schodach, często z kondygnacji podziemnych w których na stałe przebywają ludzie. Zaletą tego typu krzeseł ewakuacyjnych jest to, że nie wymagają przenoszenia osoby ewakuowanej po schodach i mogą być obsługiwane tylko przez jedną osobę. Pomimo, że napęd elektryczny z założenia jest zaletą tego rozwiązania to stanowi on również pewne ograniczenie. Niestety zdarza się, że zarządcy obiektu - osoby odpowiedzialne za utrzymanie sprzętu w pełnej sprawności – nie zapewniają cyklicznych przeglądów technicznych i zdarza się, że bateria jest uszkodzona lub rozładowana, co wyklucza użycie tego typu krzesła ewakuacyjnego wtedy, gdy zachodzi taka potrzeba.



Rysunek 11. Krzesło ewakuacyjne z napędem elektrycznym (model Everest 2.0, prod. EnSafe.One, Polska, źródło: Ensafe.One („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

Przy wyborze krzeseł ewakuacyjnych istotne są różne czynniki jakościowe, które wpływają na skuteczność i bezpieczeństwo ich używania. Do najważniejszych należą:

- udźwig (różnie definiowany w zależności od normy) – jest to minimalna nośność krzesła ewakuacyjnego i zazwyczaj wynosi od 150 kg do 250 kg, aby umożliwić ewakuację osób o różnej masie,
- wytrzymałość (różnie definiowana w zależności od normy) – jest to minimalny udźwig z uwzględnieniem współczynnika bezpieczeństwa, który ma zagwarantować, że nawet gdyby doszło do przekroczenia dopuszczalnego

udźwigu to krzesło ewakuacyjne nadal będzie mogło przenieść określone obciążenie i nie spowoduje to zagrożenia dla osoby ewakuowanej i operatora,

- masa własna urządzenia – najlżejsze modele ważą około 7-9 kg, co pozwala na łatwe przenoszenie przez jedną osobę aż do ok 30 kg w przypadku krzeseł ewakuacyjnych z napędem elektrycznym,
- materiały konstrukcyjne – stosowane są głównie stopy aluminium, stal i tworzywa sztuczne o wysokiej wytrzymałości; istotne jest, aby materiały były odporne na wysokie temperatury,
- system hamulcowy i blokada kół – zapewniająca stabilizację podczas transferu na krzesło ewakuacyjne,
- stabilizacja na krześle ewakuacyjnym – pasy regulowane do zapięcia osoby, aby nie wypadła z krzesła ewakuacyjnego podczas ewakuacji,
- łatwość obsługi i intuicyjność – kluczowy aspekt w sytuacjach stresowych; operatorzy krzeseł ewakuacyjnych muszą przechodzić cykliczne szkolenia jednak w sytuacji stresowej mimo tego mogą zapomnieć jak poprawnie używać danego wyrobu; w związku z tym im urządzenie będzie prostsze w obsłudze tym prawdopodobieństwo popełnienia błędu ze strony operatora maleje i zwiększa się bezpieczeństwo użytkowania.

W badaniach związanych ze skutecznością ewakuacji wspomaganej dużą rolę odgrywa funkcjonalność sprzętu ewakuacyjnego, która nadal nie jest szczegółowo przebadana oraz aspekty ergonomiczne. Do kluczowych wskaźników można zaliczyć czas potrzebny na lokalizację i rozłożenie krzesła ewakuacyjnego, czas transferu „na” i „z” sprzętu ewakuacyjnego. Jest to czas, który przez badawczy określany jest czasem przed rozpoczęciem przemieszczania się na drogę oraz drogą ewakuacyjną i ma krytyczne znaczenie na jej przebieg (Shi *i in.*, 2009). Istotność tego czasu podkreślają również Olsson and Regan (2001), którzy zbadali użycie klasycznych sygnalizatorów akustycznych w porównaniu do nagranych komunikatów ewakuacyjnych z systemu nagłośnieniowego. Wyniki pokazały, że osoby, które usłyszały nagrany wcześniej komunikat z systemu nagłośnieniowego szybciej wykonywały czynności przed rozpoczęciem przemieszczania się niż osoby, które usłyszały alarm z sygnalizatora

akustycznego (Olsson i Regan, 2001). Równie ważne badania w tym zakresie przeprowadził Guy Proulx w 2001 roku. Jego badania wykazały, że w budynkach, w których alarm informujący o konieczności ewakuacji był dobrze słyszalny, średni czas opóźnienia rozpoczęcia ewakuacji wynosił około 3 minuty. Warto zauważyć, że w tych budynkach 75% całkowitego czasu ewakuacji było spowodowane opóźnieniem w rozpoczęciu ewakuacji, a 25% wynikało z opóźnienia w przemieszczaniu się. W dwóch budynkach, w których ponad 20% mieszkańców uznało, że alarm nie był wystarczająco głośny, średni czas rozpoczęcia ewakuacji wynosił aż 9 minut (Proulx, 2001). Na złożoność zarządzania ewakuacją w odniesieniu do współdziałania ludzi z systemami technicznymi zwraca również uwagę (Boyce i Smither 2012). Wnioski z ich badań wskazują, że tradycyjne strategie zakładające, że osoby ze szczególnymi potrzebami zaczekają na przybycie ratowników lub żeby ktoś je ewakuował, mogą prowadzić do opóźnień i zagrożeń. Strategia wspomaganiej ewakuacji jest wg. nich często lepsza - ewakuacja przebiega szybciej i bezpieczniej niż w przypadkach, gdzie liczy się tylko na mechaniczne lub formalne zabezpieczenia (Boyce i Smither, 2012). Osoby ze szczególnymi potrzebami są często pomijane w planach ewakuacyjnych na co zwraca uwagę Christensen i inni (2007) a ewakuacja wspomagana w ogóle nie jest rozpatrywana (Christensen, Blair i Holt, 2007). Jak wskazuje poradnik „Easter Seals Project ACTION” (2004) bezpieczeństwo osób z niepełnosprawnościami zależy również od działań operacyjnych jak procedury, szkolenie personelu i planowanie ewakuacji wspomaganiej (Davis, 2004). W niektórych przypadkach - jak wskazują McClure i współautorzy (2011) – np. osób z urazem rdzenia kręgowego, niezbędne jest planowanie indywidualne i przygotowanie spersonalizowanych planów ewakuacji (McClure *i in.*, 2011).

Do kluczowych wskaźników jakościowych wpływających na czas ewakuacji zalicza się również czas przemieszczania po poziomej i pionowej drodze ewakuacyjnej, liczbę i pozycję operatorów podczas obsługi sprzętu ewakuacyjnego, a także wpływ na przepływ innych osób, które ewakuują się klatką schodową oraz przeciwprąd w przypadku służb ratowniczych.

Wiliam J. Lawson (2003) opisał szereg czynników ludzkich oraz zasad dotyczących użyteczności, które dotyczą technologii asystujących. Bazując na jego badaniach poniżej wybrano i dostosowano do potrzeb sprzętu ewakuacyjnego oraz pomocniczego (w tym

przede wszystkim dla krzeseł ewakuacyjnych) te które mogą pomóc w projektowaniu i dostosowaniu tego sprzętu na potrzeby ewakuacji wspomaganej osób ze szczególnymi potrzebami (Lawson, 2003):

- A. Równe korzystanie – sprzęt ewakuacyjny oraz pomocniczy powinien zapewniać taką samą funkcjonalność wszystkim użytkownikom, niezależnie od ich poziomu sprawności. Jeśli jakieś rozwiązanie techniczne ogranicza możliwość użytkowania przez wszystkie osoby, należy wówczas opracować równoważne rozwiązanie.
- B. Intuicyjność użytkowania – korzystanie z urządzenia powinno być łatwe do zrozumienia i szybkiego nauczenia się, niezależnie od tego jaki poziom wiedzy i umiejętności reprezentuje użytkownik (w szczególności dotyczy to operatorów sprzętu). Cel ten można osiągnąć przez wyeliminowanie zbędnej złożoności wyrobu, wyróżnienie ważnych informacji oraz zapewnienie prostej i skutecznej informacji zwrotnej, jeśli zajdzie taka potrzeba.
- C. Dostrzegalne informacje — na urządzeniu lub w jego bezpośrednim sąsiedztwie powinna znajdować się skuteczna komunikacja skierowana do użytkownika niezależnie od warunków jakie panują w budynku. Potrzebę tę można zrealizować w formie prezentacji wizualnych i werbalnych (tablet z instruktażem; QR kod do filmu instruktażowego; plany, prezentacje graficzne) oraz łatwe do zrozumienia grafiki opisujące użytkowanie.
- D. Tolerancja błędów — naturalnym jest, że podczas korzystania z urządzeń użytkownicy popełniają błędy. Sprzęt ewakuacyjny powinien być zaprojektowany tak, aby zminimalizować liczbę błędów, zapewnić zabezpieczenia przed zdarzeniami jakie można przewidzieć w ramach opracowywania analizy ryzyka na etapie projektowym.
- E. Niski wysiłek fizyczny — urządzenie powinno być zaprojektowane w taki sposób, aby ograniczać możliwość wystąpienia dużego zmęczenia i dyskomfortu. Konstrukcja wyrobu powinna minimalizować powtarzalność czynności i umożliwiać użytkownikowi utrzymanie stałej, neutralnej pozycji ciała bez konieczności użycia dużej siły.

Według badawczy Batavia i Hammer (1990) zaspokojenie potrzeb osób ze szczególnymi potrzebami to najważniejsze kryterium oceny sprzętu ewakuacyjnego (Batavia i Hammer, 1990).

Podczas użytkowania krzeseł ewakuacyjnych istotnych jest kilka czynników, które mają wpływ na zarządzanie ewakuacją z całego obiektu. Przede wszystkim urządzenia te powinny być przechowywane w miejscach łatwo dostępnych i dobrze oznakowanych (obszar pomocy ratowniczej), ale nie wewnątrz klatki schodowej, ponieważ to może ograniczyć ewakuację, zaburzyć przepływ ludzi. Ponadto, każda osoba obsługująca sprzęt ewakuacyjny musi być przeszkolona z jego obsługi i cyklicznie to szkolenie powtarzać (co najmniej raz na 12 miesięcy). Krytycznym z punktu widzenia bezpieczeństwa jest to, aby osoba odpowiedzialna za zarządzanie budynkiem przestrzegała cyklicznej, okresowej kontroli tego sprzętu - konserwacja i przeglądy techniczne co najmniej raz na 12 miesięcy. Nieprzestrzeganie tego wymagania może doprowadzić do awarii krzesła ewakuacyjnego w momencie jego użycia, co spowoduje zagrożenia życia i zdrowia dla osoby ewakuowanej jak i dla operatora.

Krzesła ewakuacyjne posiadają wiele zalet jednak ich użytkowanie niesie ze sobą pewne ryzyko. Najczęściej spotykane zdarzenia to błędy operatora spowodowane niedostatecznym szkoleniem lub jego brakiem oraz zaniedbania w konserwacji sprzętu. Odnotowano również przypadki, że niewłaściwe użycie powodowało upadki lub urazy u osoby ewakuowanej jak i u operatora. Zdarzały się również incydenty związane z nieprawidłowym zabezpieczeniem osoby ewakuowanej, co skutkowało urazami podczas transportu.

Krzesła ewakuacyjne stanowią niezbędny element w zarządzaniu skuteczną ewakuacją z budynku. Ich rozwój technologiczny pozwala na zwiększanie skuteczności ewakuacji osób ze szczególnymi potrzebami. Nadal jednak brakuje danych, badań nt. odpowiedniego rozmieszczenia krzeseł ewakuacyjnych w budynku i jego wpływu na proces ewakuacji czy optymalnych czynników jakościowych jakie powinny być stosowane w celu ich doboru do określonych budynków czy instytucji.

Rozprawa doktorska dotyczyła krzeseł ewakuacyjnych. Pisząc jednak o ewakuacji osób ze szczególnymi nie sposób pominąć i nie wskazać w celach porównawczych innego

sprzętu wykorzystywanego na potrzeby ewakuacji, który został spopularyzowany w ostatnich latach. Są to:

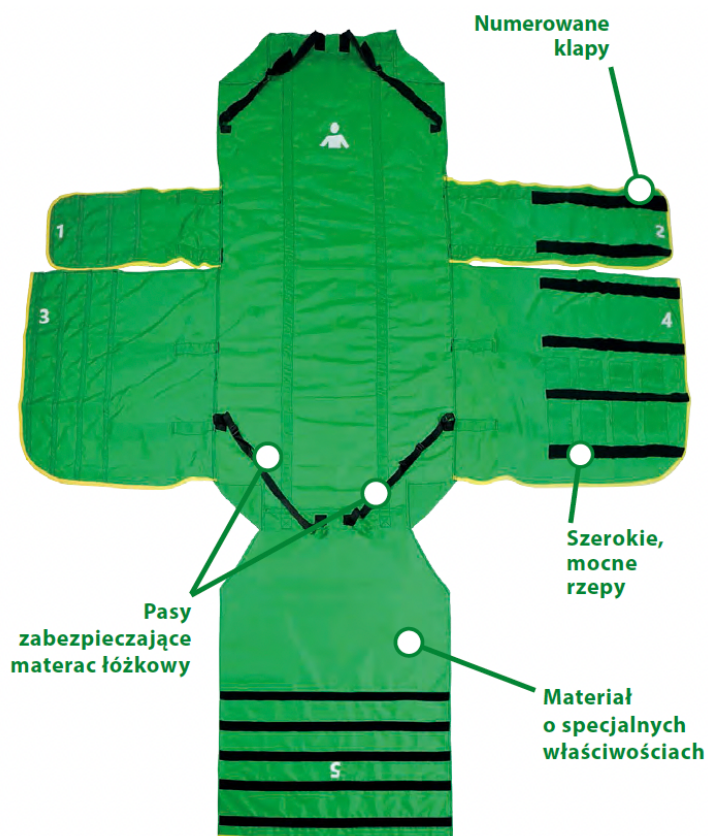
- materace ewakuacyjne czyli komplementarne rozwiązanie do ewakuacji osób ze szczególnymi potrzebami dla krzeseł ewakuacyjnych; jeśli osoba nie może być ewakuowana w pozycji siedzącej tylko leżącej wówczas stosuje się materac ewakuacyjny; materac w odróżnieniu do prześcieradła ewakuacyjnego posiada własną grubą piankę, regulowane i elastyczne pasy bezpieczeństwa, gładki spód, który ułatwia przemieszczanie po podłodze oraz uchwyty do przenoszenia; przykładowe rozwiązanie zostało wskazane na Rysunku 12,



Rysunek 12. Przykładowy materac ewakuacyjny SLIM (źródło: Ensafe.One („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

- prześcieradła ewakuacyjne (Rysunek 13) służą do ewakuacji osób ze szczególnymi potrzebami, które muszą być transportowane poziomo i stale leżą na łóżku; stosowane jest głównie w szpitalach, placówkach opiekuńczych dla osób starszych; prześcieradło ewakuacyjne wsuwa się pod materac osoby stale leżącej i mocuje do jego spodu; w ten sposób unika się konieczności transferu osoby leżącej z łóżka na sprzęt ewakuacyjny – ewakuacja prowadzona jest razem ze standardowym materacem, na którym leży osoba ewakuowana; ograniczeniem tego rozwiązania jest m. in. to, że z uwagi na szerokość standardowego materaca (ok 90 cm) w czasie ewakuacji zajęta jest większa przestrzeń drogi ewakuacyjnej; w szpitalach stanowi to mniejsze ograniczenie, ponieważ w nich drogi ewakuacyjne są szersze, co wynika z przepisów

techniczno-budowlanych (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie) (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, 2022),



Rysunek 13. Przykładowe prześcieradło ewakuacyjne Comfort (źródło: Ensafe.One („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

Prześcieradło ewakuacyjne w czasie użycia wskazano na Rysunku 14.



Rysunek 14. Prześcieradło ewakuacyjne (źródło: (Hunt, 2016)).

- nosze płachtowe rekomendowane w szczególności do ewakuacji na zewnątrz obiektu do pokonywania dużych odległości – nie wewnątrz obiektu, chyba że inny sprzęt ewakuacyjny nie może zostać użyty; wewnątrz budynku jako podstawowy sprzęt ewakuacyjny między kondygnacjami należy stosować krzesła ewakuacyjne i materace ewakuacyjne; przykładowe rozwiązanie przedstawiono na Rysunku 15,



Rysunek 15. Nosze płachtowe typu RESCUE (źródło: Ensafe.One („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

- ponadto w celu zwiększenia szybkości ewakuacji, ergonomii dla operatorów oraz komfortu osoby ewakuowanej stosuje się do transferu z wózka, łóżka, posadzki lub innego miejsca, gdzie znajduje się osoba potrzebująca pomocy, noszaki transferowe jak wskazano na Rysunku 16; wyrób ten zaliczany jest do pomocniczego sprzętu ewakuacyjnego,



Rysunek 16. Noszak transferowy (źródło: Ensafe.One („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

Do ewakuacji wspomaganej nadal stosowane są również poniższe wyroby, które z uwagi na szereg swoich ograniczeń nie są rekomendowane do użycia, lecz z uwagi na powszechność stosowane. Są to:

- krzesła składane i przenośne (Rysunek 17) – charakteryzują się małą masą i prostą konstrukcją; nie są obecnie rozwiązaniem rekomendowanym do stosowania z uwagi na dużą liczbę operatorów jaka musi być zaangażowana do przenoszenia osoby, możliwości urazu kręgosłupa w odcinku lędźwiowym operatorów czy dużą zajętość klatki schodowej, co ogranicza możliwość ewakuacji innych; uniemożliwia to również lub istotnie ogranicza prowadzenie działań przez służby ratownicze – brak miejsca na przeciwną, czyli ratowników poruszających się w górę po schodach; zostały wskazane rozprawie tylko i wyłącznie z tego powodu, że były stosowane na świecie jako jedno z pierwszych rozwiązań do ewakuacji osób i nadal można je spotkać w obiektach,



Rysunek 17. Krzesło transportowe przenośne (źródło: (Hunt, 2016)).

- nosze transportowe nadal popularne i stosowane, głównie z uwagi na ich powszechność i niską cenę; ograniczenia noszy transportowych, które stwarzają trudności i wyzwania podczas ich użytkowania:
 - wymagają dużej liczby operatorów jaką trzeba zaangażować do przenoszenia: 4 osoby,
 - operatorzy muszą być w dobrej kondycji fizycznej i o podobnym wzroście,
 - operatorzy szybko ulegają zmęczeniu i powoduje to konieczność odpoczynku co kilka kondygnacji,
 - w większości przypadków stosowanie noszy transportowych powoduje zajętość całej szerokości klatki schodowej, co powoduje zatory, gdy klatką schodową ewakuują się w tym samym czasie inne osoby.

Przykładowe rozwiązanie i jego zastosowanie przedstawiono na Rysunku 18.



Rysunek 18. Ewakuacja przy użyciu noszy (źródło: (Hunt, 2016)).

W ostatnich latach problem zarządzania ewakuacją wspomaganą osób ze szczególnymi potrzebami zyskał na znaczeniu i został zauważony przez większą grupę społeczną. Wynika to głównie z działań związanych z wdrażaniem dostępności architektonicznej. Przełożyło się to na rozwój w obszarze badań samego sprzętu ewakuacyjnego jak również zachowań ludzi w trakcie jego użycia.

3 Badania własne czynników jakościowych opisujących przydatność krzeseł ewakuacyjnych w systemach ewakuacji osób z niepełnosprawnościami

3.1 Materiały i metody badań

Na potrzeby badań wybrano poniższe metody badawcze w celu kompletnej identyfikacji wszelkich czynników jakościowych w kontekście jakości krzeseł ewakuacyjnych:

- analiza bibliometryczna – na potrzeby analizy stanu wiedzy; identyfikacja źródeł literaturowych na temat ewakuacji osób z budynków i zagadnień dotyczących ewakuacji osób z niepełnosprawnościami; analizie poddano również normy techniczne i wytyczne branżowe; analiza umożliwiła usystematyzowanie dostępnej wiedzy i była podstawą do wybrania kolejnej metody badawczej tj. „obserwacji” w celu identyfikacji wstępnie zidentyfikowanych bazowych parametrów jakościowych,
- obserwacja – analiza użycia różnych krzeseł ewakuacyjnych; wykorzystano filmy jakie udostępniają producenci krzeseł ewakuacyjnych jak również ich użytkownicy (strony internetowe; social media); obserwacja zachowania się użytkowników i operatorów pozwoliła na identyfikację tych czynników jakościowych które nie zostały zdefiniowane, omawiane w literaturze a mają wpływ na krzesło ewakuacyjne, oddziałują na użytkownika i operatora; obserwacja pozwoliła również wyodrębnić dwie grupy osób obsługujących sprzęt ewakuacyjny tj. ratowników (osoby zawodowo zajmujące się niesieniem pomocy) i operatorów (np. pracownicy obiektu); dla każdej z grupy inne czynniki jakościowe są istotne,
- ankieta ekspercka – w celu weryfikacji słuszności założeń w odniesieniu do nowych czynników jakościowych oraz poznania opinii ekspertów reprezentujących 4 grupy osób na co dzień związanych z krzesłami ewakuacyjnymi,
- eksperyment – do udziału w nim zaproszono osoby reprezentujące ratowników i operatorów (każda z osób była jednocześnie użytkownikiem czyli osobą ewakuowaną); prowadzony był z wykorzystaniem: stanowiska badawczego

firmy EnSafe dostosowanego do potrzeb eksperymentu, klatki schodowej w budynku produkcyjnym wynajmowanym przez firmę EnSafe oraz klatki schodowej w budynku biurowym; w trakcie eksperymentu była również wykorzystywana ponownie metoda obserwacji jednak tym razem była to obserwacja użycia krzesła ewakuacyjnego bezpośrednio; wnioski z eksperymentu zwróciły uwagę na dodatkowego aspekty które nie wynikały z obserwacji,

- testy jakościowe i funkcjonalne – zdefiniowane nowe czynniki jakościowe wymagały sprecyzowania tzn. określenia jakie właściwości powinny posiadać; m. in. w tym celu przeprowadzano testy jakościowe i funkcjonalne; wnioski z testów które były przeprowadzone na stanowisku badawczym jak i klatkach schodowych pozwoliły zidentyfikować oczekiwane parametry graniczne,
- wywiady – po eksperymencie każdej osobie biorącej w niej udział zadano szereg pytań, które miały na celu poznanie ich subiektywnych odczuć zarówno z punktu widzenia operatora krzesła ewakuacyjnego jak i użytkownika; metoda ta pozwoliła doprecyzować które z parametrów jakościowych mają większe lub mniejsze znaczenie w zależności od punktu odniesienia (czy osoba była ewakuowana czy była operatorem); wnioski pozwoliły na zdefiniowanie doprecyzowanie nowych czynników jakościowych,
- symulacja komputerowa – nie wszystkie eksperymenty z uwagi na dużą liczbę osób jakie należało do nich zaangażować były możliwe do przeprowadzenia w warunkach rzeczywistych; były jednak możliwe do przeprowadzenia w ramach symulacji w programie Pathfinder, który służy do modelowania i analizy ruchu osób w czasie ewakuacji; program umożliwia poznanie wyników dla rzeczywistych scenariuszy ewakuacji dzięki wykorzystaniu sztucznej inteligencji.

Szereg zastosowanych metod badawczych umożliwił poznanie znaczenia poszczególnych czynników jakościowych dla krzesła ewakuacyjnego. Metody te umożliwiły również określenie jakie wskaźniki wpływają na jakość poszczególnych czynników jakościowych i w jaki sposób mogą zostać określone, aby realnie wpływały na bezpieczeństwo i skuteczne zarządzanie ewakuacją wspomaganą.

3.2 Rezultaty badań własnych

3.2.1 Identyfikacja nowych czynników jakościowych

W oparciu o dostępną wiedzę techniczną tj. polską normę dla urządzeń do przenoszenia pacjenta PN-EN 1865-1+A1 („Patient handling equipment used in road ambulances - Part 1: General stretcher systems and patient handling equipment”, 2015), normę dla składanego krzesła transportowego PN-EN 1865-4 („Patient handling equipment used in road ambulances - Part 4: Foldable patient transfer chair”, 2012) oraz normę amerykańską dla urządzeń do ewakuacji po schodach ANSI/RESNA Ed-1 (RESNA ED-1:2019, 2019) wyodrębniono czynniki jakościowe jakie zostały już zdefiniowane i są stosowane dla krzeseł przeznaczonych do transportu osób oraz do ewakuacji. Czynniki te wskazano poniżej:

- dopuszczalne obciążenie,
- wytrzymałość na zwiększone obciążenie,
- masa sprzętu,
- stabilizacja na krześle przy użyciu pasów,
- trudno zapalność siedziska, zagłówka,
- ergonomia w ograniczonym zakresie (uchwyt do przenoszenia krzesła w górę; określony promień skrętu na spoczniku klatki schodowej).

Przedstawione czynniki jakościowe są istotne i niezbędne jednak w opinii autora rozprawy nie odnoszą się do wielu praktycznych, funkcjonalnych aspektów mających wpływ na bezpieczeństwo osób przeprowadzających ewakuację, ich komfort, możliwość funkcjonowania w różnych warunkach środowiskowych. Obecne czynniki jakościowe nie odpowiadają w ogóle na potrzeby osób zarządzających budynkami użyteczności publicznej. Brak jest czynników jakościowych, które umożliwiają estymację kosztów jakie zarządca obiektu musi ponieść na zakup, wdrożenie i przeszkolenie personelu z obsługi krzeseł ewakuacyjnych oraz utrzymanie ich w pełnej sprawności w trakcie cyklu życia.

Mając to na uwadze zidentyfikowano na podstawie własnej metodyki - wskazanej w rozdziale 1.7 rozprawy – opracowanej na bazie analizy dostępnej literatury, własnych

doświadczeń wynikających z wieloletnich obserwacji jak i przeprowadzonych eksperymentów - nowe czynniki jakościowe. Punktem zwrotnym dla tego procesu była analiza mająca na celu stwierdzenie: co i w jaki sposób może wpływać na bezpieczeństwo, komfort użytkownika (operatora; osoby ewakuowanej) krzeseł ewakuacyjnych i jakie czynniki mają wpływ na koszty wdrożenia dostępności ewakuacji w budynku użyteczności publicznej. Na potrzeby przeprowadzenia analizy wykorzystano m.in. interdyscyplinarne podejście, w którym człowiek traktowany jest jako równorzędny element systemu – obok sprzętu i procedur. Uwzględniono aspekty związane z bezpieczeństwem, niezawodnością, psychologią, ergonomią, fizjologią oraz szkolenie użytkowników.

Podejście to nazywane jest Human Systems Integration (HSI), tzn. integracją człowieka z systemem technicznym i zostało opisane przez Booher'a (Booher, 2003) czy w podręczniku nt. integracji systemów antropotechnicznych (ang. Human Systems Integration (HSI) Guidebook) (Office of the Under Secretary of Defense for Research and Engineering, 2022). Wskazano w nich, że pominięcie czynnika ludzkiego prowadzi do awarii i wypadków. Przedstawia, jak zaimplementować wiedzę o człowieku w proces projektowania – od początkowych etapów aż po testy końcowe. Uwzględnienie i zidentyfikowanie powyższych aspektów pozwala na lepsze poznanie problematyki związanej z zarządzaniem procesem ewakuacji wspomaganej osób ze szczególnymi potrzebami. Pozwala również lepiej zarządzać kosztami jakie się z tym wiążą na etapie wdrożenia rozwiązań i ich utrzymania przez kolejne lata. Nie można pominąć podczas projektowania wyrobów z obszaru technologii wspomagających głównego elementu tego systemu – człowieka. Jak wskazano w amerykańskiej ustawie federalnej której celem jest zwiększanie dostępu do technologii wspomagających dla osób z niepełnosprawnościami (ang. Assistive Technology Act of 2004 (United States Congress, 2004)) oraz jak opisuje Hersh (Hersh, 2011) istotne są subiektywne odczucia użytkownika (np. poczucie kontroli, zadowolenie), obiektywne wskaźniki (np. ulepszenia w zakresie sprawności, częstość używania), różnice między projektem a rzeczywistym zastosowaniem tzn. czy wyrób rzeczywiście jest używany tak jak zakładano. Technologie wspomagające nie tylko należy oceniać przez ich poprawne działanie techniczne, ale czy

rzeczywiście poprawiają jakość życia oraz jak lepiej je projektować a następnie wdrażać by były użyteczne i skuteczne.

W ramach tych prac wyodrębniono podział na siedem podstawowych grup mogących być bezpośrednim odniesieniem do czynnika jakościowego i są to:

- A. Osoba ewakuowana – osoba, która z jakiegokolwiek powodu nie może sama ewakuować się z obiektu i potrzebuje wsparcia w tym zakresie. Zwraca szczególną uwagę na ergonomię danego rozwiązania do ewakuacji, poczucie bezpieczeństwa w trakcie transportu oraz komfort przy transferze „na” i „ze” sprzętu ewakuacyjnego.
- B. Operator (np. użytkownik obiektu; portier – osoba przeszkolona, ale nie zajmująca się tym profesjonalnie na co dzień jak „Ratownik”): osoba znajdująca się w obiekcie, w określonej przestrzeni która podejmuje się wsparcia, pomocy osobie nie mogącej samej się ewakuować i wykorzystuje w tym celu sprzęt ewakuacyjny (np. krzesła ewakuacyjne, materace ewakuacyjne) oraz sprzęt pomocniczy, wspierający to działanie (np. noszaki transferowy). Osoba ta została przeszkolona z użycia tego sprzętu i co najmniej raz w roku odbywa ponowne szkolenie z jego użycia. Główne czynniki jakościowe na które zwraca uwagę to łatwość obsługi sprzętu, ergonomia sprzętu ograniczającą możliwość wystąpienia urazu u niego podczas całego procesu i dostępność sprzętu w obiekcie.
- C. Ratownik (np. strażak; ratownik medyczny) – osoba, która z uwagi na wykonywany zawód zajmuje się udzielaniem pomocy innym ludziom zawodowo i w sposób profesjonalny przygotowana jest do tych działań - zna sprzęt, który wykorzystuje i używa go regularnie podczas ćwiczeń oraz uczestnicząc w realnych zdarzeniach. Główne czynniki jakościowe na które zwraca uwagę ratownik to gabaryty sprzętu (z uwagi na ograniczone miejsce w samochodach pożarniczych; karetkach), mobilność (łatwość przenoszenia), możliwość wielokrotnego użycia, uniwersalność zastosowania tj. dla osób z różnymi niepełnosprawnościami.
- D. Zarządca obiektu / osoba faktycznie zarządzająca budynkiem – osoba odpowiedzialna za bezpieczeństwo w obiekcie w tym za przygotowanie obiektu na wypadek ewakuacji, wyposażenie budynku w odpowiednią ilość, rodzaj sprzętu ewakuacyjnego i pomocniczego oraz wdrożenia go do użycia (szkolenie wdrożeniowe

i cykliczne); zarządca obiektu musi również zapewnić pełną sprawność sprzętu ewakuacyjnego w trakcie cyklu jego życia. Główne czynniki jakościowe istotne dla niego to ilość sprzętu ewakuacyjnego i pomocniczego jaka jest potrzebna w obiekcie, jego rozmieszczenie, koszt zakupu i wdrożenia sprzętu (w tym szkolenia), koszty jego utrzymania w cyklu życia oraz napraw serwisowych.

- E. Producent sprzętu ewakuacyjnego, pomocniczego – przedsiębiorstwo, które zajmuje się projektowaniem, produkcją i wdrożeniem do sprzedaży sprzętu ewakuacyjnego. Istotne są dla niego wszystkie czynniki jakościowe jak dla pozostałych grup, ponieważ stara się sprostować każdej z nich, aby to jego sprzęt został wybrany jako ten, który odpowiada na największą ilość potrzeb. Ponadto istotnym czynnikiem jakościowym jest koszt wytworzenia produktu zapewniający konkurencyjną cenę przy jednoczesnym spełnieniu oczekiwań interesariuszy.
- F. Organ przeprowadzający kontrolę, inspekcję, certyfikację krzesła ewakuacyjnego mający ocenić, czy spełnia on deklarowane przez producenta / dystrybutora wartości czynników jakościowych.
- G. Środowisko pracy (np. budynek; teren zewnętrzny; środek transportu jak kolej, samolot, autobus): każde miejsce, gdzie może zostać użyty sprzęt ewakuacyjny jak krzesło ewakuacyjne. W zależności od jego rodzaju stosowany i rekomendowany będzie inny rodzaj sprzętu.

Pozyskane w ten sposób dane doprowadziły do zdefiniowania nowych czynników jakościowych, które nie występowały do tej pory w normach, badaniach czy literaturze. Dwa spośród nich (dopuszczalne obciążenie dynamiczne; wytrzymałość statyczna) powstały na bazie już istniejących i dobrze znanych parametrów jakościowych. Wprowadzone jednak zmiany w sposobie podejścia do stawianych im wymagań i ich weryfikacji - w ramach autorskich badań - powoduje, że ich definicje zostały poszerzone a czynnik jakościowe uznane przez autora rozprawy jako nowe.

Do nowych czynników jakościowych zaliczono:

- dopuszczalne obciążenie dynamiczne (czynnik powstały na bazie dopuszczalnego obciążenia),
- funkcjonalność ewakuacyjna,

- maksymalna zasięg zjazdu,
- nieinwazyjność środowiskowa,
- trwałość eksploatacyjna,
- wytrzymałość statyczna (czynnik powstały na bazie wytrzymałości na zwiększone obciążenie),
- zasięg w systemie mieszanym (dotyczy krzesła ewakuacyjnego z napędem elektrycznym).

Charakterystykę tych czynników, wartości jakie powinny przyjmować oraz kryteria oceny zawarto w dalszej części rozprawy doktorskiej w podrozdziale 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4.

3.2.1.1 Ocena ekspercka

W celu weryfikacji, które z nowych czynników jakościowych są według ekspertów najistotniejsze, postanowiono przeprowadzić badanie eksperckie. W tym celu opracowano poniższą metodykę:

- A. Wybrano ekspertów reprezentujących różne obszary związane z użytkowaniem krzeseł ewakuacyjnych:
 - grupa 1: eksperci od dostępności architektonicznej,
 - grupa 2: eksperci reprezentujący użytkowników (przedstawiciele budynków użyteczności publicznej m. in. uczelni i urzędu miasta),
 - grupa 3: eksperci od produkcji, zapewnienia jakości krzeseł ewakuacyjnych,
 - grupa 4: sprzedaż i marketing.
- B. W każdej grupie zostało wybranych 3 ekspertów, łącznie było ich 12.
- C. Nowe czynniki jakościowe krzesła ewakuacyjnego uszeregowano alfabetycznie, aby nie sugerować kolejności, ważności żadnego z nich.
- D. Polecono ekspertom, aby przypisali do każdego z nowych czynników jakościowych cyfrę od 1 do 7, gdzie: 1 oznacza „najmniej ważne” a 7 „najważniejsze”.

- E. Każdy ekspert mógł użyć każdą cyfrę tylko raz tzn. dwa czynniki jakościowe nie mogły otrzymać takiej samej wartości np. wartość 4 może otrzymać tylko jeden z nich i wówczas dla drugiego należało wskazać wartość z puli cyfr jakie nie zostały jeszcze przypisane do żadnego nowego czynnika jakościowego.

W celu analizy zgodności ocen ekspertów wykorzystano metodę współczynnika konkordancji Kendalla i Smitha (oznaczany jako W_k – (Kendall, 1990)). Jest to miara zgodności ocen lub rang nadanych przez kilku ekspertów (oceniających) temu samemu zbiorowi wariantów w tym przypadku nowych czynników jakościowych, aby sprawdzić czy ich opinie są ze sobą spójne. Każdy z n ekspertów nadaje rangę każdemu z k wariantów. Sumuje się rangi przypisane każdemu wariantowi przez wszystkich ekspertów i oblicza się wariancję tych sum rang.

Współczynnik W_k oblicza się zgodnie ze wzorem, a jego wartość przyjmuje się od 0 (brak zgodności) do 1 (pełna zgodność):

$$W_k = \frac{12S}{n^2(k^3 - k)}$$

Oznaczenia:

- S – suma kwadratów odchyleń sum rang od ich średniej
- n – liczba ekspertów,
- k – liczba wariantów (nowych czynników jakościowych).

Rysunek 19. Wzór na współczynnik konkordancji Kendalla i Smitha (źródło: [167]).

Pierwszym krokiem do przeprowadzenia analizy było zebranie danych od ekspertów i zestawiono je w Tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie wyników badań eksperckich (źródło: opracowanie własne).

Nazwa czynnika jakościowego	Sumaryczna liczba punktów w danej grupie				Sumaryczna liczba punktów wszystkich grup
	G1	G2	G3	G4	
Dopuszczalne obciążenie dynamiczne	17	9	13	18	57
Funkcjonalność ewakuacyjna	19	20	19	19	77
Maksymalna zasięg zjazdu	14	7	15	8	44

Nieinwazyjność środowiskowa	5	14	5	4	28
Trwałość eksploatacyjna	8	19	10	9	46
Wytrzymałość statyczna	11	6	9	17	43
Zasięg w systemie mieszanym	10	9	13	9	41

Obliczono współczynnik konkordancji Kendalla i Smitha, który dla tego badania **wynosi 0,351**. Otrzymany wynik oznacza, że zgodność opinii 12 ekspertów jest umiarkowana – nowe czynniki jakościowe są subiektywnie, różnie interpretowane np. „trwałość eksploatacyjna” może mieć inne znaczenie dla osób z doświadczeniem technicznym niż dla użytkowników. W praktyce część ekspertów ustawia podobnie kolejność ważności czynników, ale inni oceniają je w odmienny sposób. Różnice wynikają z podziału ekspertów na cztery grupy od G1 do G4. Badanie wskazuje, że każda z grup ekspertów zwraca większą uwagę na inny czynniki jakościowy co jest spójne z ich specjalizacją i doświadczeniem. Potwierdza to jednocześnie, że w zależności od posiadanej wiedzy, doświadczenia zawodowego podejście co do ważności czynników jakościowych będzie inne, subiektywne.

Wynik umiarkowany wskazuje, że eksperci nie są w pełni jednomyślni, ale można wyodrębnić pewne wspólne trendy w postrzeganiu ważności kryteriów np. częste wysokie notowania funkcjonalności ewakuacyjnej czy dopuszczalnego obciążenia dynamicznego. Pomimo istotnej statystycznie zgodności, poziom $W_k < 0,5$ wskazuje na istotną różnorodność opinii i w praktyce należy uwzględnić szeroki wachlarz punktów widzenia.

3.2.1.2 Analiza podstawowych czynników jakościowych krzesła ewakuacyjnego

Poniżej zdefiniowano podstawowe czynniki jakościowe krzesła ewakuacyjnego w zakresie dopuszczalnego obciążenia dynamicznego, wytrzymałości statycznej oraz zasięgu dla krzesła ewakuacyjnego z napędem elektrycznym.

Dopuszczalne obciążenie oraz wytrzymałość należą do podstawowych czynników jakościowych krzesła ewakuacyjnego. Często są one mylone i stosowane zamiennie, co stanowi błąd. Błąd ten, świadomie lub nie, popełniają również producenci sprzętu

ewakuacyjnego wskazując, przyjmując te same wartości dla każdego z ww. czynników w dokumentacji technicznej.

Dopuszczalne obciążenie to maksymalna masa ciała osoby wraz z ewentualnym dodatkowym wyposażeniem, do jakiego krzesło ewakuacyjne jest zaprojektowane i umożliwia bezpieczne podnoszenie oraz transport na płozach. Przekroczenie tego limitu zwykle nie prowadzi do uszkodzenia krzesła ewakuacyjnego czy utraty kontroli nad nim podczas ewakuacji.

Wytrzymałość odnosi się do zdolności krzesła ewakuacyjnego do znoszenia obciążeń i sił działających na niego podczas użytkowania, w tym nie tylko statycznego ciężaru, ale także dynamicznych obciążeń wynikających z przenoszenia, manewrowania na schodach, nierównościach terenu czy nagłych ruchów. Przekroczenie wytrzymałości może każdorazowo prowadzić do uszkodzenia krzesła ewakuacyjnego i do co najmniej częściowej utraty jego zdolności do ewakuacji.

W celu ujednolicenia tej terminologii oraz wskazania prawidłowych definicji na potrzeby użycia krzesła ewakuacyjnego postanowiono przeanalizować dostępne standardy sprzętu o podobnej konstrukcji lub przeznaczeniu. Następnie porównano czynniki jakościowe, przeanalizowano badania, testy jakie należy przeprowadzić w celu ich weryfikacji. Wskazano również oczekiwane wartości tych czynników jakościowych, które powinny zostać spełnione dla krzesła ewakuacyjnego mając na uwadze bezpieczeństwo osób zaangażowanych w proces ewakuacji wspomaganej.

Została także podjęta próba wskazania badań dodatkowych nie ujętych dotąd w normach, które pozwolą na sprawdzenie krzesła ewakuacyjnego w jego naturalnym środowisku tj. podczas ewakuacji osoby w dół i w górę po schodach. Jest to o tyle istotne, że na krzesło ewakuacyjne w czasie ruchu lub przenoszenia będzie działało jednocześnie kilka sił zmiennych w czasie. W odróżnieniu od badań statycznych w czasie których krzesło ewakuacyjne badane jest w pozycji na kołach czy na płozach. Szczegółowo problematyka ta została omówiona w ostatniej części tego rozdziału.

Krzesło ewakuacyjne to wyrób medyczny klasy I i podlega m. in. wymaganiom zawartym w rozporządzeniu MDR, które wskazuje wiele restrykcji i producent danego wyrobu jest zobowiązany do ich przestrzegania (UE, 2017). Za specyfikację wyrobu, jego

dane techniczne, instrukcję używania czy dane marketingowe - ale nie tylko - odpowiada po wprowadzeniu wyrobu na rynek jego producent a za ich weryfikację w Polsce Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych w dalszej części tego rozdziału nazywany URPL². W przypadku gdy dochodzi do wypadku z udziałem wyrobu medycznego zdarzenie takie nazywane jest „incydentem”. W zależności od pogorszenia stanu pacjenta (w tym przypadku osoby ewakuowanej lub operatora) może zostać zakwalifikowany do „poważnego incydentu”, który musi zostać zgłoszony do URPL. Zgodnie z artykułem 2 pkt. 64 MDR za „incydent” uznaje się cyt. *„wszelkie wadliwe działanie lub pogorszenie właściwości lub działania, w tym błąd użytkowy wynikający z cech ergonomicznych, wyrobu udostępnionego na rynku, a także wszelkie nieprawidłowości w informacjach podanych przez producenta oraz wszelkie działania niepożądane”* (UE, 2017).

Z kolei zgodnie z artykułem 2 pkt. 65 MDR „poważny incydent” oznacza cyt. *„incydent, który bezpośrednio lub pośrednio doprowadził, mógł doprowadzić lub może doprowadzić do któregośkolwiek z niżej wymienionych zdarzeń:*

- a. Zgon pacjenta, użytkownika lub innej osoby.*
- b. Czasowe lub trwałe poważne pogorszenie stanu zdrowia pacjenta, użytkownika lub innej osoby.*
- c. Poważne zagrożenie zdrowia publicznego”.*

Przywołane zapisy mają istotne znaczenie dla wyrobu jakim jest krzesło ewakuacyjne. Fakt przewożenia pacjenta (osoby ewakuowanej) klatką schodową w dół po schodach (lub ewakuacja w górę, przenoszenie) stwarza wiele potencjalnych zagrożeń, które w przypadku, gdy się zmaterializują mogą powodować skutki charakterystyczne dla „poważnego incydentu”. Jednym z czynników jaki może do tego

² Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych (URPL), to polska instytucja rządowa. Jej głównym zadaniem jest ochrona zdrowia i bezpieczeństwa publicznego poprzez kontrolę i nadzór nad rynkiem produktów medycznych. Instytucja współpracuje z innymi agencjami regulacyjnymi w Unii Europejskiej, uczestnicząc w procedurach scentralizowanych i wymianie informacji.

doprowadzić jest utrata stateczności krzesła ewakuacyjnego czy też deformacja, pęknięcie albo niepoprawne działanie podzespołu spowodowane przekroczeniem wytrzymałości. Analizując zagadnienie dopuszczalnego obciążenia i wytrzymałości krzesła ewakuacyjnego z takiej perspektywy, potwierdza się jak istotne są to czynniki jakościowe. Jednocześnie uświadamia jakie konsekwencje fizyczne dla osoby ewakuowanej oraz prawne dla zarządcy obiektu i producenta tego wyrobu mogą wystąpić w przypadku niepożądanego działania.

W celu ograniczenia ryzyka wystąpienia „incydentu” producent wyrobu medycznego jest zobowiązany do szeregu działań zmierzających do jego minimalizacji, co szczegółowo wskazano w rozporządzeniu MDR. Jest istotne z punktu widzenia operatora / ratownika używającego krzesło ewakuacyjne czy osoby ewakuowanej. Zarządca budynku tj. osoba podejmująca decyzję o zakupie sprzętu ewakuacyjnego, jest zobowiązany i odpowiedzialny za zapewnienie ewakuacji oraz przygotowanie budynku do prowadzenia działań ratowniczych zgodnie z art. 4 par. 1 pkt. 4 i 5 oraz art. 4 par. 1a ustawy o ochronie przeciwpożarowej (Dz.U. 2025 poz. 188, 1991). Z każdym wyrobem medycznym musi zostać dostarczona „instrukcja używania”. Powinna ona informować użytkownika o przewidzianym zastosowaniu wyrobu, właściwym używaniu oraz o wszelkich środkach ostrożności, które należy podjąć.

W załączniku 1 do rozporządzenia MDR zawierającego ogólne wymagania dotyczące bezpieczeństwa i działania, wskazano szereg istotnych informacji na temat wymagań dla wyrobu medycznego a z punktu widzenia zakresu tematycznego tego rozdziału istotne są m. in. następujące informacje:

- a. W rozdziale II (wymogi dotyczące projektowania i obsługi) w pkt. 10.1 wskazano, że cyt.: *„wyroby są projektowane i produkowane w sposób zapewniający spełnienie wymogów dotyczących właściwości i działania, o których mowa w rozdziale I. Szczególną uwagę należy zwrócić na:*
 - *lit. e: właściwości mechaniczne zastosowanych materiałów, odzwierciedlające – w stosownych przypadkach – takie kwestie jak wytrzymałość, plastyczność, odporność na pękanie, odporność na zużycie oraz wytrzymałość zmęczeniową,*

- *lit. h: potwierdzenie, że wyrób spełnia wszelkie określone specyfikacje chemiczne lub fizyczne*".
- b. W rozdziale III (wymogi dotyczące informacji przekazywanych wraz z wyrobem) w pkt. 23.2 zawarto informacje jakie muszą znaleźć się na etykiecie wyrobu m. in. zgodnie z lit. B. cyt. *„informacje bezwzględnie niezbędne użytkownikowi do zidentyfikowania wyrobu, zawartości opakowania oraz w przypadku, gdy nie jest to dla użytkownika oczywiste, przewidzianego zastosowania wyrobu”*; do takich informacji należy zakwalifikować dopuszczalne obciążenie wyrobu.
- c. Ww. rozdziale III w pkt. 23.4 wskazano, że w instrukcji używania należy zawrzeć informację zgodnie z lit. b dotyczącą cyt. *„przewidziane zastosowanie wyrobu z jasnym podaniem wskazań, przeciwwskazań, grupy docelowej lub grup docelowych pacjentów i przewidzianych użytkowników, stosownie do przypadku”*; ta informacja jest podstawą, ale jednocześnie wymogiem informowania o dopuszczalnym obciążeniu krzesła ewakuacyjnego.

Przytoczone informacje mają za zadanie przybliżenie tylko części wymagań jakie spoczywają na producencie, ale także importerze, dystrybutorze (w stosownym zakresie) wyrobu medycznego klasy I jakim jest krzesło ewakuacyjne. Celem wskazania tych informacji jest również jednoznaczne potwierdzenie, że urządzenia tego typu muszą spełniać szereg restrykcyjnych wymagań i rozprawienie się z mitem jaki pojawia się w przestrzeni publicznej, że skoro nie ma normy europejskiej do projektowania krzeseł ewakuacyjnych to nie muszą one spełniać konkretnych wymagań a jedynie mogą. Kwalifikacja krzeseł ewakuacyjnych do wyrobów medycznych klasy I powoduje, że na producencie tych wyrobów ciąży obowiązek takiego ich zaprojektowania, aby były bezpieczne i musi to zostać potwierdzone odpowiednimi badaniami (UE, 2017).

W takim przypadku, gdy nie została opracowana ani na poziomie krajowym ani na poziomie europejskim dedykowana norma techniczna do projektowania i badania krzeseł ewakuacyjnych, należy opierać się na ogólnych zasadach inżynierii, wiedzy eksperckiej oraz standardach dotyczących podobnych urządzeń, które mają zbliżone funkcje.

W celu prawidłowego zdefiniowania nowych czynników jakościowych pn. dopuszczalne obciążenie dynamiczne i wytrzymałość krzesła ewakuacyjnego wykorzystano dwie polskie normy (PN-EN 1865-1+A1, 2015; PN-EN 1865-4, 2012). Zostały one opracowane dla wyrobów o podobnym przeznaczeniu. Dodatkowo posłużono się amerykańskim standardem ANSI/RESNA, który stanowi zbiór dobrych praktyk dla urządzeń transportowych używanych na schodach, wprowadzanych na rynek Stanów Zjednoczonych (RESNA ED-1:2019, 2019).

W dalszej części w sposób usystematyzowany przeanalizowano każdą z tych norm odnosząc się do następujących danych: (1) definicji, (2) wartości czynnika jakościowego dopuszczalnego obciążenia oraz do wytrzymałości, (3) korelacji między tymi czynnikami, (4) metod badań tych czynników, (5) innych badań wytrzymałościowych jakie należy wykonać dla wyrobu, (6) analizy wyników.

Takie podejście pozwoliło na eliminację nieporozumień i błędnych założeń. Jednym z podstawowych celów instrukcji używania jest zapewnienie jej zrozumienia przez każdego użytkownika. Musi być sformułowana w sposób minimalizujący ryzyko błędnej interpretacji. Dlatego kluczowe jest odpowiednie zdefiniowanie, a następnie jasne komunikowanie istotnych terminów. Przykładowo, dla użytkownika krzesła ewakuacyjnego kluczowym czynnikiem jest dopuszczalne obciążenie, informujące o maksymalnej masie ciała osoby, którą można nim bezpiecznie ewakuować. Natomiast informacja o wytrzymałości krzesła ewakuacyjnego na obciążenia jest istotna przede wszystkim dla producenta, organu nadzoru (np. URPL, Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych), czy jednostki certyfikującej system zarządzania jakością (np. Polskie Centrum Badań i Certyfikacji (PCBC), TÜV Rheinland Polska, SGS Polska, DNV Polska lub Bureau Veritas Polska). Podawanie obu tych informacji lub błędne podanie jedynie wytrzymałości wyrobu zamiast dopuszczalnego obciążenia w instrukcji używania może prowadzić do niezrozumienia tych wartości przez użytkownika, co w konsekwencji może skutkować „incydentem” lub „poważnym incydentem” związanym z użyciem wyrobu medycznego.

Analizie poddano następujące standardy:

- A. ANSI/RESNA ED-1:2019. American National Standard for Evacuation Devices - Volume 1: Emergency Stair Travel Devices Used by Individuals with Disabilities -

Amerykańska Norma Państwowa dla Urządzeń Ewakuacyjnych – Tom 1: Urządzenia do awaryjnego poruszania się po schodach używane przez osoby niepełnosprawne (RESNA ED-1:2019, 2019).

- B. PN-EN 1865-1+A1 Urządzenia do przenoszenia pacjenta stosowane w ambulansach drogowych. Część 1: ogólne systemy noszy i urządzenia do przenoszenia pacjenta („Urządzenia do przenoszenia pacjenta stosowane w ambulansach drogowych -- Część 1: Ogólne systemy noszy i urządzenia do przenoszenia pacjenta”, 2015).
- C. PN-EN 1865-4 Urządzenia do przenoszenia pacjenta stosowane w ambulansach drogowych. Część 4: Składane krzesło transportowe („Urządzenia do przenoszenia pacjenta stosowane w ambulansach drogowych -- Część 4: Składane krzesło transportowe”, 2014).

Jako pierwszy dokument przeanalizowano standard ANSI/RESNA ED-1:2019, ponieważ odnosi się on jako jedyny wprost do urządzeń przeznaczonych do ewakuacji ludzi po schodach i wskazane są w nim krzesła ewakuacyjne. Norma *PN-EN 1865-1+A1* charakteryzuje wymagania dla krzesła kardiologicznego (pkt. 4.3), krzesła transportowego (pkt. 4.9) oraz nieskładanego krzesła transportowego tzw. „lektyki” (4.10) a norma *PN-EN 1865-4* dla składanego krzesła transportowego.

Opisywaną analizę przeprowadzono tak, aby zestawzić ze sobą bezpośrednio dane z tych norm, co pozwoliło na łatwiejszą ich ocenę – numeracja punktowa jest zgodna ze wcześniej wskazaną metodyką jaka został przyjęta w tym rozdziale.

(1) Definicje

ANSI/RESNA ED-1:2019 wyodrębnia następujące założenia:

- capacity (pkt. 3.3) - należy tłumaczyć jako dopuszczalne obciążenie i zostało ono zdefiniowane jako maksymalna masa użytkownika, dla której urządzenie jest przeznaczone, podana przez producenta,
- required minimum occupant weight capacity, with safety factor (pkt. 5.1.1) – jest to wytrzymałość krzesła ewakuacyjnego, określona jako dopuszczalne obciążenie z uwzględnieniem współczynnika bezpieczeństwa.

PN-EN 1865-1 i PN-EN 1865-4 nie wskazują wprost definicji dotyczącej dopuszczalnego obciążenia i wytrzymałości tylko w ich treści podają konkretne nazwy czynników i/lub sposób prowadzenia testów, badań. I tak dla dopuszczalnego obciążenia przyjęto „ładowność” a w celu sprawdzenia wytrzymałości statycznej przeprowadzić należy badania m. in. na trwałą deformację, która definiuje wytrzymałość danego wyrobu (testy prowadzone są z większym obciążeniem niż dopuszczalna ładowność). Istotne z punktu widzenia przedmiotowej analizy jest nie to czy definicję pokrywają się, ale fakt, że metodyka postępowania przed dopuszczaniem produktu do użytkowania jest taka sama tzn.:

- krok 1: określono w każdej z norm, dla każdego wyrobu maksymalną masę jaką może być on obciążany w normalnych warunkach użytkowania,
- krok 2: określono jaką masą, większą od tej wcześniejszej należy obciążać wyrób i w jaki sposób, aby określić czy może zostać dopuszczony do użytkowania.

Analiza ta potwierdza, że w każdej z opisywanych norm w ramach procedur badawczych przyjęto współczynnik bezpieczeństwa do wskazania wytrzymałości wyrobu (na bazie dopuszczalnego obciążenia). Ma on za zadanie zapewnić, że dany wyrób będzie bezpieczny, nawet po przekroczeniu dopuszczalnego obciążenia w pewnym, określonym zakresie i nie spowoduje istotnych, negatywnych skutków dla osoby transportowanej / ewakuowanej czy operatora tego wyrobu.

(2) Wartości czynników jakościowych pn. dopuszczalne obciążenie i wytrzymałość (oznaczono „DO” jako dopuszczalne obciążenie i „W” jako wytrzymałość)

- ANSI/RESNA ED-1:2019: DO = 159 kg, W = 238 kg,
- PN-EN 1865-1: DO = 150 kg, W = 250 kg,
- PN-EN 1865-4: DO = 150 kg, W = 250 kg.

Dane te wskazują, że wartości dopuszczalnego obciążenia (DO) oraz wytrzymałości (W) są do siebie zbliżone, co pozwala przyjąć, że można je uznać za reprezentatywne. Można na ich podstawie obliczyć współczynnik bezpieczeństwa (WB), jako iloraz W i DO. Te zgromadzone dane pozwalają też odpowiedzieć na pierwsze pomocnicze pytanie badawcze (PPB1) wskazane w rozdziale 1.7.2.

(3) Korelacja między czynnikami

Współczynnik bezpieczeństwa (WB) – informuje o ile razy należy zwiększyć masę podczas badań wytrzymałości wyrobu względem dopuszczalnego obciążenia:

- ANSI/RESNA ED-1:2019 (RESNA ED-1:2019, 2019): WB = 1,5,
- PN-EN 1865-1 („Patient handling equipment used in road ambulances - Part 1: General stretcher systems and patient handling equipment”, 2015): WB = 1,67 (nie podano tej informacji wprost; WB obliczono na podstawie wartości DO i W),
- PN-EN 1865-4 („Patient handling equipment used in road ambulances - Part 4: Foldable patient transfer chair”, 2012): WB = 1,67 (nie podano tej informacji wprost; WB obliczono na podstawie wartości DO i W).

Dane te wskazują, że przyjęto w każdej z norm czynnik jakościowy dotyczący bezpieczeństwa w podobnym zakresie i uznaje się je za referencyjne dla tego typu wyrobów.

(4) Metody badań czynników jakościowych - badanie wytrzymałości

- ANSI/RESNA ED-1:2019 – ogólny opis badania:

Badania przewidują obciążenia wyrobu masą 100, 159 i 238 kg, na płaszczyźnie i na schodach pod kątem $32,5^{\circ} \pm 0,5$; jeśli krzesło ewakuacyjne wytrzyma to obciążenie przez 1 minutę w pozycji statycznej oraz podczas jazdy i nie ulegnie uszkodzeniu wówczas badanie zostanie uznane za pozytywne.

- PN-EN 1865-1 i PN-EN 1865-4 ogólny opis badania:

Obciążenie krzesła masą 250 kg, gdy jest zawieszone na uchwytach i masa jest rozłożona równomiernie; przejazd krzesłem obciążonym masą 250 kg przez przeszkody jak próg, różne nawierzchnie. Konstrukcja nie może ulec trwałej deformacji, a komponenty nie mogą zostać uszkodzone po testach.

Testy skupiają się głównie na krótkotrwałym obciążeniu statycznym oraz krótkotrwałym zjeździe po schodach w przypadku ANSI/RESNA ED-1:2019 i jeździe po powierzchni płaskiej z przeszkodami w przypadku PN-EN 1865-1 i PN-EN 1865-4. Zidentyfikowane dane stanowią jednocześnie odpowiedź na pomocnicze pytania badawcze PPB2, PPB3 i PPB4.

(5) Inne badania wytrzymałościowe jakie należy wykonać

ANSI/RESNA ED-1:2019:

Testy wytrzymałości pasów bezpieczeństwa (klatka piersiowa, pas, nogi, głowa).
Obciążenie pasów w różnych kierunkach (środkowo, +30°, -30°). Siła minimalna:

- klatka piersiowa: 91 kg,
- pas biodrowy: 56 kg,
- nogi: 22 kg (lub 11 kg na każdą nogę osobno),
- głowa: 22 kg.

Norma PN-EN 1865-1 i PN-EN 1865-4:

Odporność na skręcanie – stosowanie dźwigni z siłą 100 N na uchwyty i obserwacja przemieszczenia konstrukcji. Zwichrowanie kół – test toczenia po przeszkodach (np. progi, różne nawierzchnie) z obciążeniem 250 kg. Nie może dojść do deformacji lub uszkodzenia.

Norma PN-EN 1865-4:

Odporność mechanizmów blokujących, badanie działania zawiasów i zamków – nie mogą się samoczynnie otwierać i zamykać.

(6) Analiza wyników

Dodatkowe testy wytrzymałościowe wskazane w analizowanych normach to badanie w zakresie skręcania konstrukcji oraz testy skupiające się na poszczególnych detalach krzeseł jak: pasy bezpieczeństwa, koła, mechanizmy blokujące i zamki. Każdy z tych testów ma istotny wpływ na jakość i bezpieczeństwo danego wyrobu.

Na podstawie analizy opisywanych norm przyjmuje się na potrzeby dalszych testów oraz na potrzeby opracowania metodyki badawczej, że oczekiwane wartości analizowanych czynników i ich nazwy będą następujące:

Dopuszczalne Obciążenie Dynamiczne (DOD): 160 kg

Celowo wprowadza się nową nazwę czynnika jakościowego poszerzając jego definicję o słowo „dynamiczne”, co będzie miało odzwierciedlenie w prowadzonych

testach i będzie przekładało się na większy poziom bezpieczeństwa oraz komfort użytkownika.

Przyjęto wartość większą niż to wynika z norm europejskich (150 kg) a która została wskazana w standardzie amerykańskim (159 kg), przy czym zaokrąglono ją do pełnej wartości tj. 160 kg (159 kg wynika z przeliczenia masy wyrażonej w funtach tj. 350 lb na europejski system miar).

Wytrzymałość (W): 260 kg

Z kolei w tym przypadku amerykański standard wymaga przyjęcia niższej wartości tj. 238 kg niż jest to wskazane w normach europejskich. Kierując się jednak regułą postępowania zgodnie z odpowiednim marginesem bezpieczeństwa i w zgodzie z dostępną europejską wiedzą techniczną przyjęto wartość 260 kg zwiększając dopuszczalne obciążenie dynamiczne o 100 kg. Takie postępowanie zapewnia zgodność z każdym ze standardów.

Analiza wskazanych w ANSI/RESNA ED-1:2019, PN-EN 1865-1 oraz w PN-EN 1865-4 danych dotyczących dopuszczalnego obciążenia oraz wytrzymałości wskazuje, że wartości tych czynników są zbliżone. Każda metoda badawcza skupia się głównie na obciążeniu statycznym krótkoterminowym oraz dynamicznym w takim samym zakresie. Ocenie podlega głównie konstrukcja oraz takie elementy – w zależności od normy – jak: pasy bezpieczeństwa, koła. Pozytywne wyniki testów potwierdzają (testy prowadzone w krótkim czasie - kilku minut) czy oczekiwane czynniki jakościowe są spełnione.

Bazując na wiedzy zawartej we wskazanych normach oraz własnych doświadczeniach i badaniach autora rozprawy doktorskiej w celu weryfikacji wytrzymałości krzesła ewakuacyjnego, rekomenduje się przeprowadzenie poniższych badań będących połączeniem tego co zostało zawarte w normach i wskazane w punkcie (4) z uwzględnieniem dodatkowych elementów mających wpływ na bezpieczeństwo użytkowania:

A. Badanie wytrzymałości 1:

Obciążenie wyrobu masą 260 kg na płaszczyźnie. Jeśli krzesło ewakuacyjne wytrzyma to obciążenie przez 5 minut w pozycji statycznej i nie ulegnie uszkodzeniu wówczas badanie zostanie zaliczone.

B. Badanie wytrzymałości 2:

Obciążenie wyrobu masą 260 kg na schodach (siły działające na krzesło ewakuacyjne pod kątem $30^{\circ} \pm 3^{\circ}$). Badanie zostanie uznane za zaliczone, jeśli krzesło ewakuacyjne wytrzyma to obciążenie przez co najmniej 5 minut.

C. Badanie wytrzymałości 3:

Krzesło ewakuacyjne obciążone masą 260 kg, zawieszone na uchwytych, elementach do przenoszenia przy równomiernym rozłożeniu ciężaru, nie może ulec uszkodzeniu ani trwałemu odkształceniu (wyboczeniu). Czas trwania testu 10 minut.

D. Badanie wytrzymałości 4:

Podczas przejazdu krzesłem ewakuacyjnym obciążonym masą 260 kg przez przeszkody takie jak progi i różnorodne nawierzchnie, konstrukcja nie może ulec uszkodzeniu ani trwałym wyboczeniom (przejazd przez co najmniej: 3 progi o wysokości 4 cm; po kostce brukowej oraz symulowanej nawierzchni z różnymi grzbietami o wysokości do 5 cm).

W przypadku, gdy producent wyrobu zadeklaruje większe dopuszczalne obciążenie dynamiczne niż wskazano (160 kg) wówczas należy przeprowadzić badania wytrzymałości statycznej z odpowiednio zwiększoną masą. Zwiększenie to powinno wynosić 100 kg deklarowanego dopuszczalnego obciążenia dynamicznego. Takie postępowanie ma na celu uniknięcia sytuacji, że producent, importer lub dystrybutor danego wyrobu deklaruje dopuszczalne obciążenie dynamiczne wyższe np. 200 kg bez przeprowadzenia badań wytrzymałości statycznej z odpowiednio wyższą masą tj. w takim przypadku 300 kg.

Przeprowadzenie badań wyrobu tylko w zakresie wytrzymałości nie jest w opinii autora rozprawy wystarczające, aby zapewnić bezpieczeństwo użytkowania krzesła ewakuacyjnego. Głównym problemem tych badań jest to, że nie odnoszą się do:

- wytrzymałości elementów krytycznych jak układ jezdny z pasami jezdny, rolkami prowadzącymi czy uchwytu głównego narażonego na wielokrotne podnoszenie krzesła ewakuacyjnego do pozycji pionowej podczas zmiany kierunku ewakuacji,

- wytrzymałości krzesła ewakuacyjnego biorąc pod uwagę zmęczenie materiału wynikające z jego użytkowania.

Mając na uwadze powyższe oraz doświadczenie praktyczne w projektowaniu, badaniu, produkcji i użytkowaniu krzeseł ewakuacyjnych oraz transportowych poniżej zaproponowano dodatkowe badania, które pozwolą odpowiedzieć na powyższe pytania. Z uwagi na aspekt praktyczny tj. możliwość wykonania badania w sposób bezpieczny dla osób, które je realizują do celów badań dynamicznych przyjmuje się obciążenie równe „Dopuszczalnemu Obciążeniu Dynamicznemu” (DOD).

A. Badanie dynamiczne 1:

Zjazd krzesłem ewakuacyjnym w dół po schodach.

Cel: sprawdzenie odporności konstrukcji na powtarzalne uderzenia i drgania podczas zjazdu; sprawdzenie wpływu zmęczenia materiału oraz całej konstrukcji w tym elementów łączeniowych; sprawdzenie wytrzymałości układu jezdnego.

Opis testu:

- krzesło ewakuacyjne obciążone manekinem o masie 160 kg obsługiwane przez operatora i osobę asystującą (w celach bezpieczeństwa) zjeżdża po schodach o standardowym kącie nachylenia ($30^{\circ} \pm 3^{\circ}$),
- wykonuje się zjazd przez 10 kondygnacji w dół,
- test możliwy jest do przeprowadzenia w każdym budynku wielokondygnacyjnym, polega na wielokrotnym przemieszczaniu się krzesłem ewakuacyjnym w dół po klatce schodowej przez dostępną ilość kondygnacji aż do osiągnięcia wartości zjazdu przez 10 kondygnacji w dół (na potrzeby badań przyjęto, że kondygnacja wraz ze stropem posiada wysokość 3 m, $\pm 0,2$ m a klatka schodowa spełnia wymagania wskazane w warunkach techniczno-budowlanych³); przykładowo, w budynku o 6 kondygnacjach nadziemnych

³ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie Dz.U. 2022 poz. 1225.

należy wykonać dwa zjazdy z najwyższej położonej kondygnacji, przy czym każdy zjazd umożliwia pokonanie 5 kondygnacji.

W trakcie prowadzonego testu:

- rejestruje się uszkodzenia ramy, zużycie kół prowadzących pasy, pasów jezdnych, pęknięcia, luzy w połączeniach,
- dokonuje się pomiarów po teście w celu sprawdzenie ewentualnych uszkodzeń, wyboczeń mogących mieć wpływ na możliwość dalszego użytkowania krzesła ewakuacyjnego.

Wartość dodana:

- odzwierciedla realne użytkowanie krzesła ewakuacyjnego w sytuacji rzeczywistej i długotrwałej,
- ujawnia uszkodzenia konstrukcji, które nie są widoczne przy statycznym obciążeniu i testach jednostkowych, krótkoterminowych.

B. Badanie dynamiczne 2:

Zjazd krzesłem ewakuacyjnym w dół po schodach ze zmniejszonym obciążeniem (50% wartości DOD) w celu sprawdzenia wytrzymałości pasów jezdnych i układu jezdnych. Celowo zmniejsza się masę manekina, aby zmniejszyć obciążenia u operatora przy tak dużej liczbie kondygnacji (100 w dół po schodach). Zużycie pasów jezdnych i wytrzymałość układu jezdnych są szczególnie istotne dla ratownika (możliwość wielokrotnego użycia sprzętu) oraz zarządcy obiektu (koszty utrzymania sprzętu ewakuacyjnego w pełnej sprawności).

Cel: sprawdzenie odporności pasów jezdnych i układu jezdnych na zużycie podczas zjazdu.

Opis testu:

- krzesło ewakuacyjne obciążone manekinem o masie 80 kg obsługiwane przez operatora i osobę asystującą (w celach bezpieczeństwa) zjeżdża po schodach o standardowym kącie nachyleniu ($30^{\circ} \pm 3^{\circ}$),
- wykonuje się zjazd przez 100 kondygnacji w dół,

- test możliwy jest do przeprowadzenia w każdym budynku wielokondygnacyjnym, polega na wielokrotnym przemieszczaniu się krzesłem ewakuacyjnym w dół po klatce schodowej przez dostępną ilość kondygnacji aż do osiągnięcia wartości zjazdu przez 100 kondygnacji w dół; na potrzeby badań przyjęto, że kondygnacja wraz ze stropem posiada wysokość 3 m, $\pm 0,2$ m a klatka schodowa spełnia wymagania wskazane w warunkach techniczno-budowlanych (Dz. U. 2022 poz. 1225); przykładowo, w budynku o 6 kondygnacjach nadziemnych należy wykonać dwadzieścia zjazdów z najwyższej położonej kondygnacji, przy czym każdy zjazd umożliwia pokonanie 5 kondygnacji.

W trakcie prowadzonego testu:

- rejestruje się uszkodzenia, zużycie pasów jezdnych i układu jezdnego,
- dokonuje się pomiarów po teście w celu sprawdzenia zużycia, naciągnięcia się pasów jezdnych oraz uszkodzeń układu jezdnego.

Wartość dodana:

- odzwierciedla realne użytkowanie krzesła ewakuacyjnego w sytuacji rzeczywistej i długotrwałej,
- ujawnia wytrzymałość pasów i układu jezdnego w testach długodystansowych.

C. Badanie dynamiczne 3:

Ewakuacja w górę poprzez wniesienie manekina na krzesło ewakuacyjne.

Cel: sprawdzenie wyboczeń konstrukcji w tym uchwytów dolnych i górnych do przenoszenia, konstrukcji krzesła ewakuacyjnego. Analizowane normy nie uwzględniają badań, które pozwoliłyby uzyskać dane wskazujące, że w takim przypadku krzesło ewakuacyjne może być bezpiecznie używane czy nie.

Opis testu:

- krzesło ewakuacyjne obciążone manekinem o masie 160 kg jest wynoszone w górę po schodach o standardowym nachyleniu ($30^\circ \pm 3^\circ$),

- wykonuje się ewakuację przez 10 kondygnacji w górę przez co najmniej 3 lub 4 osoby,
- test jest możliwy do realizacji w każdym budynku wielokondygnacyjnym; po wyniesieniu przez dostępną ilość kondygnacji test kontynuowany jest od początku aż do osiągnięcia wymaganej liczby np. w budynku o 6 kondygnacjach nadziemnych należy wykonać dwie serie (każde wyniesienie pozwoli przemieścić się przez 5 kondygnacji).

W trakcie prowadzonego testu:

- rejestruje się uszkodzenia ramy, stan uchwytów do przenoszenia, pęknięcia, luzy w połączeniach,
- dokonuje się pomiarów po teście w celu sprawdzenie ewentualnych uszkodzeń, wyboczeń mogących mieć wpływ na możliwość dalszego użytkowania krzesła ewakuacyjnego.

Wartość dodana:

- odzwierciedla realne użytkowanie krzesła ewakuacyjnego w sytuacji rzeczywistej i długotrwałej,
- ujawnia uszkodzenia konstrukcji, które nie są widoczne przy statycznym obciążeniu i testach jednostkowych, krótkoterminowych.

D. Badanie dynamiczne 4 (tylko dla krzesła ewakuacyjnego z napędem elektrycznym):

Ewakuacja w górę i w dół po schodach krzesłem ewakuacyjnym z napędem elektrycznym w systemie mieszanym tj. tyle samo zjazdów co wyjazdów.

Cel: sprawdzenie wyboczeń konstrukcji krzesła ewakuacyjnego, skuteczności pasów jezdnych (czy nie ślizgają się po krawędziach schodów; nie uszkadzają na skutek kontaktu ze schodami lub nie uszkadzają mechanicznie schodów lub ich okładzin).

UWAGA 1: żadna z analizowanych norm (ANSI/RESNA ED-1:2019, PN-EN 1865-1 oraz w PN-EN 1865-4) nie dotyczy krzesła ewakuacyjnego / transportowego z napędem elektrycznym i nie wskazuje dla niego metodyki badawczej.

UWAGA 2: metodykę badawczą dla podobnego urządzenia do krzesła ewakuacyjnego z napędem elektrycznym wskazuje norma dotycząca wózków inwalidzkich („Requirements and test methods for stair-climbing devices”, 2012), nie poddano jej szczegółowej analizie porównawczej z powodu:

- innego przeznaczenia tzn. wózek gąsienicowy o którym mowa w normie ISO 7176-28 służy do wykorzystania codziennego, regularnego co powoduje, że dla takiego urządzenia stosuje się inne kryteria w zakresie oceny wytrzymałości jak i czasu jego eksploatacji,
- norma ISO 7176-28 odnosi się do innych wymagań w zakresie dopuszczalnego obciążenia dynamicznego wskazując jako podstawę wózki do transportu, przemieszczenia się osób z niepełnosprawnościami na co dzień; ten fakt powoduje, że z uwagi na czas użycia, przeznaczenie względem krzesel ewakuacyjnych / transportowych używanych okazjonalnie ich bezpośrednie porównywanie i przyjmowanie wspólnej metodyki badawczej nie jest miarodajne w opinii autora rozprawy.

Niemniej jednak przedstawiona w normie ISO 7176-28 metodyka do oceny urządzenia gąsienicowego do transportu osoby z niepełnosprawnościami może zostać wykorzystana jako poszerzenie badań zaproponowanych w tym rozdziale i pozostawia się to do oceny eksperckiej osoby chcącej przeprowadzić takie badania.

Opis testu:

- krzesło ewakuacyjne obciążone manekinem o masie 160 kg obsługiwane przez operatora i osobę asystującą (w celach bezpieczeństwa) wyjeżdża i zjeżdża po schodach o standardowym nachyleniu ($30^{\circ} \pm 3^{\circ}$),
- wykonuje się wjazd i zjazd po schodach przez 10 kondygnacji (po 5 dla każdego kierunku),
- test możliwy jest do realizacji w każdym budynku wielokondygnacyjnym, po przemieszczeniu się przez dostępną liczbę kondygnacji test kontynuowany jest od początku aż do osiągnięcia wymaganej liczby wyjazdów i zjazdów np. w budynku o 6 kondygnacjach nadziemnych należy wykonać 1 serię wjazdu i zjazdu (wjazd, zjazd pozwoli pokonać po 5 kondygnacji co daje łącznie 10).

W trakcie prowadzonego testu:

- rejestruje się uszkodzenia ramy, pęknięcia, luzy w połączeniach, stan techniczny pasów gąsienicowych lub o płaskiej powierzchni, skuteczność wyjazdu (czy pasy ślizgały się na krawędziach schodów czy nie), stan fizyczny schodów po użyciu krzesła ewakuacyjnego tzn. ich krawędzi lub okładziny po wykonaniu testu (czy schody, ich okładzina nie zostały uszkodzone),
- dokonuje się pomiarów po teście w celu sprawdzenie ewentualnych uszkodzeń, wyboczeń mogących mieć wpływ na możliwość dalszego użytkowania krzesła ewakuacyjnego.

Wartość dodana:

- odzwierciedla realne użytkowanie krzesła ewakuacyjnego w sytuacji rzeczywistej i długotrwałej,
- ujawnia uszkodzenia konstrukcji, które nie są widoczne przy statycznym obciążeniu i testach jednostkowych, krótkoterminowych,
- ocena przydatności układu jezdnego napędzanego elektrycznie, odpowiedniego doboru pasów gąsienicowych lub o płaskiej powierzchni.

E. Dla krzesła ewakuacyjnego z napędem elektrycznym należy wykonać również badanie jego zasięgu w systemie mieszanym tj. tyle samo zjazdów co wyjazdów.

Cel: sprawdzenie możliwości przemieszczania się, zasięgu krzesła ewakuacyjnego w górę i w dół po schodach z deklarowanym przez producenta dopuszczalnym obciążeniem dynamicznym oraz czasu pracy z maksymalnym obciążeniem wyrażonym w godzinach lub ilościach kondygnacji.

Opis testu:

- krzesło ewakuacyjne obciążone manekinem o masie 160 kg obsługiwane przez operatora i osobę asystującą (w celach bezpieczeństwa) wyjeżdża i zjeżdża po schodach o standardowym nachyleniu ($30^{\circ} \pm 3^{\circ}$),
- wykonuje się wjazd i zjazd po schodach przez 100 kondygnacji (po 50 dla każdego kierunku),

- test możliwy jest do realizacji w każdym budynku wielokondygnacyjnym, po przemieszczeniu się przez dostępną liczbę kondygnacji test kontynuowany jest od początku aż do osiągnięcia wymaganej liczby wyjazdów i zjazdów np. w budynku o 6 kondygnacjach nadziemnych należy wykonać 10 serii wyjazdów i zjazdów (każdy wyjazd, zjazd pozwoli pokonać 5 kondygnacji w dół i w górę).

W trakcie prowadzonego testu:

- rejestruje się czy zastosowany układ napędowy wraz z baterią umożliwia przejechanie co najmniej 100 pięter w górę i w dół po schodach w trybie mieszanym.

Wartość dodana:

- ocena przydatności układu jezdnego napędzanego elektrycznie - odpowiedniego doboru silnika elektrycznego (o wystarczającej mocy) i baterii o odpowiedniej pojemności.

W badaniach dynamicznych A, B i D jak wskazano wcześniej świadomie użyto manekina o masie 160 kg a w badaniu B o masie 80 kg. Celem tych badań jest sprawdzenie użyteczności krzesła ewakuacyjnego, jego podzespołów krytycznych i potencjalnego wpływu na uszkodzenie i zużycie przy maksymalnym dopuszczalnym obciążeniu (badania A, C, D) a nie sprawdzenie maksymalnej wytrzymałości konstrukcji co jest celem badań wytrzymałościowych A - D. W przypadku gdy deklarowane dopuszczalne obciążenie krzesła ewakuacyjne jest wyższe niż 160 kg należy użyć do ww. testów manekina o masie równej deklarowanemu dopuszczalnemu obciążeniu dynamicznemu a w badaniu B odpowiednio 50% wartości tego obciążenia. To samo dotyczy się ilości kondygnacji jaka deklarowana jest dla zasięgu krzesła ewakuacyjnego z napędem elektrycznym – wartość ta powinna być zgodna z wartością jaką deklaruje producent. Jeśli producent nie deklaruje zasięgu wyrażonego w ilości pokonywanych pięter w górę i w dół po klatce schodowej a jedynie czas pracy baterii np. 2 godziny wówczas badanie należy wykonać w taki sposób, że wykonywane są wyjazdy i zjazdy krzesłem ewakuacyjnym w seriach po 5 lub 10 kondygnacji górę i w dół (lub adekwatnie do ilości kondygnacji w budynku) aż do osiągnięcia łącznie 100 kondygnacji albo wyczerpania baterii albo osiągnięcia 2 godzin pracy z odnotowaniem ilości kondygnacji

jaką przemieściło się krzesło ewakuacyjne w górę i w dół po klatce schodowej w tym czasie.

3.2.1.3 Odpowiedzi na pomocnicze pytania badawcze PPB1 – PPB5

Przeprowadzona analiza porównawcza pozwoliła poznać jakie są wymagania w zakresie dopuszczalnego obciążenia i wytrzymałości dla urządzeń o podobnym przeznaczeniu oraz funkcji i odnieść te wymagania do krzeseł ewakuacyjnych. W rozdziale 1.7.2 sformułowano pięć pomocniczych pytań badawczych (PPB1-PPB5).

A. PPB1: Jakie wymagania dotyczące dopuszczalnego obciążenia oraz wytrzymałości wskazano w normach technicznych dotyczących podobnego konstrukcyjnie oraz z uwagi na przeznaczenie sprzętu transportowego?

- ANSI/RESNA ED-1:2019: dopuszczalne obciążenie DO = 159 kg, wytrzymałość W = 238 kg,
- PN-EN 1865-1: DO = 150 kg (ładowność), W = 250 kg,
- PN-EN 1865-4: DO = 150 kg W = 250 kg,

B. PPB2: Jakie badania zostały wskazane w analizowanych normach w celu weryfikacji oczekiwanych czynników jakościowych w zakresie obciążenia i wytrzymałości?

- ANSI/RESNA ED-1:2019: Badania przewidują obciążenie wyrobu masą 100, 159 i 238 kg na płaszczyźnie i na schodach pod kątem $32,5^{\circ} \pm 0,5^{\circ}$; krzesło musi wytrzymać to obciążenie przez 1 minutę statycznie i podczas jazdy bez uszkodzeń,
- PN-EN 1865-1 i PN-EN 1865-4: Obciążenie wyrobu masą 250 kg, gdy jest zawieszone na uchwytach z równomiernie rozłożoną masą; przejazd wyrobem obciążonym masą 250 kg przez przeszkody (próg, różne nawierzchnie).

C. PPB3: Czy metodyka badań uwzględnia obciążenia statyczne i dynamiczne czy tylko jedno z nich?

Metodyki badań wskazane w analizowanych normach uwzględniają zarówno obciążenia statyczne, jak i dynamiczne, choć z różnym naciskiem. ANSI/RESNA ED-1:2019: Obejmuje zarówno statyczne utrzymanie obciążenia przez 1 minutę, jak

i dynamiczny przejazd (jazda) z obciążeniem po płaszczyźnie i schodach. PN-EN 1865-1 i PN-EN 1865-4: Skupiają się na krótkotrwałym obciążeniu statycznym (zawieszenie z obciążeniem) oraz dynamicznym przejeździe przez przeszkody na płaskiej powierzchni.

D. PPB4: Czy wskazane metodyki badawcze uwzględniają czas użytkowania i należy przeprowadzić testy uwzględniające również zmęczenie materiału, zużycie się podzespołów?

Analizowane metodyki badawcze skupiają się głównie na krótkotrwałym obciążeniu i nie uwzględniają w sposób bezpośredni długotrwałego czasu użytkowania, zmęczenia materiału ani zużycia się podzespołów. Jest to niedoskonałość tych norm.

E. PPB5: Czy badania uwzględniają użycie sprzętu zarówno do ewakuacji / transportu w dół i w górę po schodach?

- ANSI/RESNA ED-1:2019: Uwzględnia badanie dynamiczne podczas zjazdu po schodach,
- PN-EN 1865-1 i PN-EN 1865-4: Nie wskazują badań dotyczących transportu po schodach; skupiają się na transporcie po płaskiej powierzchni z przeszkodami.

Zaproponowana w tym rozdziale metodyka badawcza umożliwia komplementarną weryfikację trzech podstawowych czynników jakościowych, jakie powinny spełniać krzesła ewakuacyjne i które mają kluczowy wpływ na jakość tych wyrobów oraz zwiększają bezpieczeństwo ich użytkowania.

Przeprowadzenie badań i sprawdzenie tych czynników jakościowych zgodnie ze wskazaną metodyką zapewni również wiarygodne potwierdzenie zgodności z rozporządzeniem MDR oraz umożliwi zarządcom obiektów poznanie kosztów związanych z eksploatacją i utrzymaniem w pełnej sprawności krzesel ewakuacyjnych.

3.2.2 Analizy szybkości ewakuacji jako głównego czynnika jakościowego (funkcjonalność ewakuacyjna)

3.2.2.1 Określenie szybkości ewakuacji

Szybkość ewakuacji, oceniana w kontekście różnorodnych scenariuszy zagrożeń i charakterystyk ewakuowanych, jest fundamentalnym czynnikiem mającym bezpośredni wpływ na zarządzanie procesem ewakuacji i jego przygotowanie. To jaka będzie szybkość ewakuacji zależy od kilku zmiennych m. in. rodzaju i ilości sprzętu ewakuacyjnego oraz pomocniczego, ilości osób jaka będzie ewakuowała się w tym samym czasie z budynku, ilości osób ze szczególnymi potrzebami jakie nie mogą same się ewakuować i potrzebują wsparcia, ilości osób jakie mogą pomóc w ewakuacji wspomaganej, parametrów technicznych klatki schodowej. Inne czynniki, takie jak łatwość użycia sprzętu, niezawodność, trwałość czy koszt jego wdrożenia, też są ważne, ale to właśnie szybkość ewakuacji jest najściślej powiązana z głównym celem istnienia tego sprzętu – minimalizacją ryzyka i ochroną życia ludzi.

Kuligowski et al., 2015 porównali szybkość ewakuacji dla dwóch budynków, 6 kondygnacyjnego oraz 13 kondygnacyjnego. Z badań tego zespołu wynika, że średnia pionowa szybkość ewakuacji wynosi od 0.20 do 0.24 m/s (Tabela 3) i zależy od liczby i ustawienia ratowników zaangażowanych do ewakuacji jednej osoby z niepełnosprawnością, posługujących się sprzętem do ewakuacji.

Tabela 3. Szybkość ewakuacji w zależności od liczby ratowników (źródło: (Kuligowski i in., 2015a)).

	Ogółem		Budynek 6-kondygnacyjny		Budynek 13-kondygnacyjny	
	Próba	Średnia (m/s)	Próba	Średnia (m/s)	Próba	Średnia (m/s)
Populacja	32		19		13	
1 ratownik z przodu, 1 z tyłu	18	0,19 ± 0,04	7	0,18 ± 0,04	11	0,20 ± 0,03
2 ratowników z przodu, 1 z tyłu	2	0,21 ± 0,01	2	0,21 ± 0,01	-	
1 z przodu, 1 z tyłu, 1 niosący balkonik	7	0,23 ± 0,03	5	0,23 ± 0,02	2	0,25 ± 0,03
1 z przodu, 1 z tyłu, 1 obserwator	2	0,19 ± 0,04	2	0,19 ± 0,04	-	
1 z przodu, 1 z tyłu, kombinacja funkcji	4	0,24 ± 0,05	3	0,25 ± 0,06	1	0,24

Szybkość ewakuacji osób ze szczególnymi potrzebami jest zależna m. in. od rodzaju zastosowanego krzesła ewakuacyjnego lub materaca ewakuacyjnego oraz wymiarów poziomych i pionowych dróg ewakuacyjnych w budynku.

W ostatnich dekadach przeprowadzono szereg badań, których celem było określenie z jaką szybkością przemieszczają się drogami ewakuacyjnymi (poziomymi i pionowymi) podczas ewakuacji ludzie pełnosprawni oraz z ograniczoną mobilności ruchową. Analiza dostępnej wiedzy naukowej, w szczególności artykułów naukowych pozwoliła określić jak szybko przemieszcza się klatkę schodową operator z krzesłem ewakuacyjnym (Adams i Galea, 2011; Kuligowski *i in.*, 2013, 2015a; Lavender *i in.*, 2014; Hunt, Galea i Lawrence, 2015; Lavender, Jay P. Mehta, *i in.*, 2015; Mehta *i in.*, 2015; Hunt *i in.*, 2020; Szulc, Cisek i Król, 2022), przeprowadzono również badania dotyczące prędkości przemieszczania innego rodzaju sprzętu ewakuacyjnego.

Pomiędzy wynikami badań występują różnice wynikające z wielu zmiennych jak:

- stan psychofizyczny osób w czasie badania,
- rodzaj obiektu (jego przeznaczenie),
- parametry techniczne klatki schodowej (im szersza tym prędkości przemieszczania się mogą być większe),
- zajętość klatki schodowej przez ludzi tzn. ile osób przemieszcza się nią w danym momencie,
- czy występuję w klatce schodowej przeciwprąd w postaci np. strażaków prowadzących działania ratowniczo-gaśnicze,
- jaki sprzęt ewakuacyjny jest używany do ewakuacji osób ze szczególnymi potrzebami - nosze, krzesła do przenoszenia ludzi mogą blokować całkowicie przepływ ludzi natomiast materace ewakuacyjne i krzesła ewakuacyjne będą je tylko częściowo ograniczać,
- w przypadku operatorów sprzętu ewakuacyjnego znajomość ich obsługi.

Poniżej w Tabeli 4 zestawieniowo prędkości przemieszczania się ludzi oraz wykonywania czynności ze sprzętem ewakuacyjnym i pomocniczym.

Tabela 4. Prędkości przemieszczania się ludzi oraz wykonywania czynności ze sprzętem ewakuacyjnym i transferowym (źródło: opracowanie własne na podstawie wskazanych tabeli źródeł).

	Prędkość m/s	Średnia czas na pokonanie 1 piętra w dół* (dot. sprzętu)	Ilość osób potrzeba do obsługi (dot. sprzętu)	Źródło danych	Uwagi
Pozioma droga					
Osoba pełnosprawna w średnim wieku	1,2 (wartość średnia)	---	---	(Orłowska i Dziubiński, 2018)	Zwykle przyjmuje się poniżej 1,4 m/s, najczęściej 1,2 m/s
	1,2	---	---	[123]	---

	1,25	---	---	(Hashemi, 2018)	---
Osoba poruszająca się o kulach	0,7	---	---	[123]	
	0,94	---	---	(Hashemi, 2018)	
Osoba poruszająca się przy użyciu balkonika	0,57	---	---	(Hashemi, 2018)	---
Wózek manualny do przemieszczania się	0,69	---	---	(Hashemi, 2018)	---
Wspomagane chodzenie przez innych	0,78	---	---	(Hashemi, 2018)	---
Nosze	1,04 (+-0,09)	---	4	[109]	---
	1,1	---	4	[116]	
Krzesło ewakuacyjne	1,46 (+-0,09)	---	1	[109]	---
	1,5	---	1	[116]	
	1,09	---	1	[123]	
Prześcieradło ewakuacyjne	0,89 (+-0,24)	---	1 (na drodze poziomej, gdy osoba jest przewożona)	[109]	---
	0,9	---	1 (jw.)	[116]	
Krzesło do znoszenia po schodach (prędkość na kołach po drodze poziomej)	1,50 (+-0,1)	---	1 (na drodze poziomej, gdy osoba jest przewożona)	[109]	---
	1,1	---	1 (jw.)	[116]	

Pionowa droga w dół (klatka schodowa)					
Osoba pełnosprawna w średnim wieku	0,8 (+0,19)	---	---	(Kratchman, 2007)	---
	0,7 (+0,26)	---	---	(Kratchman, 2007)	Prędkość z uwzględnienie m przeciwprądu strażaków.
	0,7	---	---	(Hashemi, 2018)	---
Osoba starsza - mężczyzna	0,57 - 0,60	---	---	(Fruin, 1971)	---
	0,46 - 0,80	---	---	(Fujiyama i Tyler, 2004)	
Osoba starsza - kobieta	0,47 - 0,56	---	---	(Fruin, 1971)	---
	0,46 - 0,80	---	---	(Fujiyama i Tyler, 2004)	
Osoba starsza	0,07-0,9	---	---	[16]	Badanie uwzględnia osoby poruszające się np. z laską lub z pomocą innej osoby
Osoba poruszająca się o kulach	0,27	---	---	[123]	---
	0,22	---	---	(Hashemi, 2018)	---
Osoba poruszająca się przy użyciu balkonika	0,14	---	---	(Hashemi, 2018)	---
Wspomagane chodzenie przez innych	0,13	---	---	(Hashemi, 2018)	---
Nosze	0,53 (+0,1)	---	4	[109]	Angażuj 4 osoby i zajmują całkowitą szerokość badanych klatek schodowych.
	0,55	30	4	[116]	

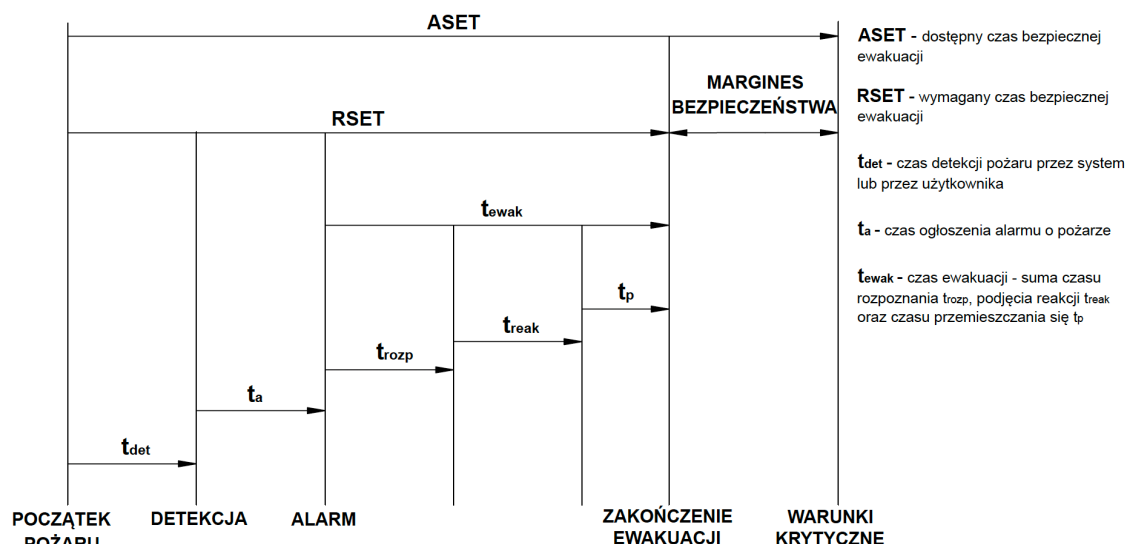
Krzesło ewakuacyjne	0,83 (+-0,04)	---	1-2	[109]	---
	0,81	21	1-2	[116]	
Prześcieradło ewakuacyjne	0,67 (+-0,15)	---	1-2	[109]	---
	0,62	27	2	[116]	
Krzesło do znoszenia po schodach	0,58 (+-0,12)	---	4	[109]	Angażuje 4 osoby i zajmuje całkowitą szerokość badanych klatek schodowych.
	0,57	29,7	3-4	[116]	

Transfer na sprzęt ewakuacyjny					
Nosze	77,2 (+-19,2)	---	---	[109]	---
Krzesło ewakuacyjne	32,7 (+-5,3)	---	---	[109]	---
Prześcieradło ewakuacyjne	65,2 (+-14,1)	---	---	[109]	---
Krzesło do znoszenia po schodach	41,5 (+-7,9)	---	---	[109]	---

Aby dokładniej opisać tę problematykę postanowiono przeprowadzić szereg testów rzeczywistych w budynku w zakresie pełnego procesu ewakuacji jak również symulacji różnych scenariuszy ewakuacji z wykorzystaniem dedykowanego programu, co pozwoliło na znacznie szersze porównanie wpływu wykorzystania określonego rodzaju sprzętu ewakuacyjnego na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku.

Metodyka badań i analiz szybkości ewakuacji

Na potrzeby opisywanych badań i symulacji komputerowych korzystano z założeń zawartych w wytycznych w zakresie inżynierii bezpieczeństwa pożarowego w zakresie ewakuacji z budynków Konfederacji Europejskich Stowarzyszeń Ochrony Przeciwpowodziowej, CFPA-Europe (*Fire safety engineering concerning evacuation from buildings*, 2023) w zakresie bezpiecznego czasu ewakuacji (Rysunek 20).



Rysunek 20. Dostępny czas bezpiecznej ewakuacji (źródło: opracowanie własne na podstawie CFPA).

Badania i symulacje opisane w tym rozdziale dotyczą zakresu wskazanego na Rysunku 20 opisanego jako (t_{ewak}) czyli czasu ewakuacji, który jest sumą trzech parametrów: t_{rozp} (czas rozpoznania), t_{reak} (czas reakcji), t_p (czas przemieszczania się).

Warto podkreślić, że istotne jest, kiedy rozpoczynane jest badanie, w jakim etapie procesu ewakuacji i kiedy kończone (a jest to czas od usłyszenia alarmu, powzięcia informacji o nim aż do czasu przekazania osoby ewakuowanej służbom ratowniczym).

Istotne z punktu widzenia praktyki jest m. in. zwrócenie szczególnej uwagi na newralgiczny składnik czasu przemieszczania się (t_p) jakim jest transfer „na” i „ze” sprzętu ewakuacyjnego. Często pomijany a w rzeczywistości czasochłonny i bez odpowiedniego przygotowania trudny do przeprowadzenia co może mieć wpływ na przeprowadzenie lub nie przeprowadzenie skutecznej ewakuacji wspomaganej. Dlaczego jest to tak istotne? Wiele badań, testów skupia się na badaniu szybkości ewakuacji od momentu, gdy osoba ewakuowana znajduje się już na krześle ewakuacyjnym i nie jest analizowany czas potrzebny na zabranie i rozłożenie krzesła ewakuacyjnego, transfer osoby na nie, zabezpieczenie osoby i rozpoczęcie ewakuacji. Sam transfer na sprzęt ewakuacyjny może powodować wiele wyzwań i badania przeprowadzone w ramach doktoratu wdrożeniowego dotyczyły również tego aspektu. Z uwagi na coraz powszechniejsze stosowanie oprócz krzeseł ewakuacyjnych również innego sprzętu ewakuacyjnego jakim są np. materace ewakuacyjne dla celów porównawczych postanowiono przeprowadzić badania realne jak i symulacje

komputerowe dla tych dwóch wyrobów. Jest to próba odpowiedzi na pytanie, które z tych urządzeń jest rozwiązaniem lepszym do ewakuacji i które z nich można uznać na uniwersalne, o ile w ogóle to możliwe.

W obecnych czasach, w których możliwość wystąpienia konfliktu zbrojnego stała się realnym zagrożeniem należy również rozpatrywać jaki jest dostępny czas bezpiecznej ewakuacji w przypadku wystąpienia konfliktu zbrojnego. W poradniku na czas kryzysu i wojny pn. „Bądź gotowy” (Rządowe Centrum Bezpieczeństwa, 2022) nie określono jaki jest maksymalny bezpieczny czas, aby przeprowadzić ewakuację do obiektu zbiorowej ochrony. W szwajcarskich wytycznych (BABS, 2024) wskazano, że maksymalny czas alarmu trwa 1 minutę, później następuje przerwa do 5 minut i alarm jest powtarzany przez 1 minutę. Schrony są projektowane w taki sposób, aby znajdowały się w bliskiej odległości od zabudowań lub w budynkach np. w piwnicach, tunelach jednak również czas na bezpieczną ewakuację nie został określony.

Jedynie w wytycznych FEMA (FEMA, 2006) w części poświęconej atakom z powietrza wskazano doświadczenia Izraela. Zgodnie z nimi czas dojścia do schronu musi być krótszy lub równy czasowi ostrzeżenia i wynosi on dla rakiety Scud 3 minuty.

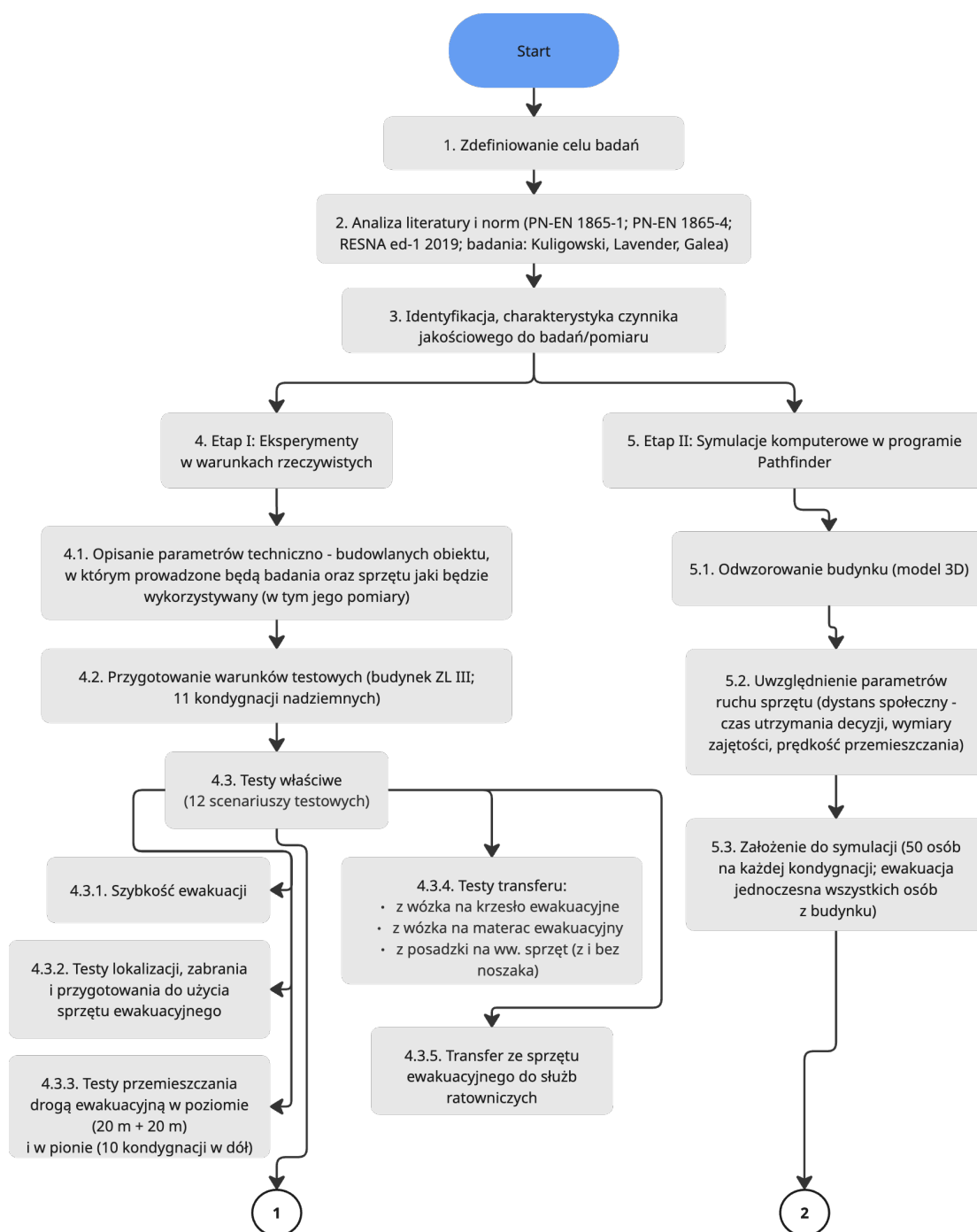
Na bazie doświadczeń z wojny w Ukrainie z lat 2022-2023 można założyć, że najbardziej prawdopodobny jest atak przy użyciu dronów. Średnia prędkość dronów kamikaze typu Shahed-136 podczas ich bojowego użycia wynosi 140-150 km/h (pełny obserwowany zakres wynosi od 70 do 400 km/h) (Hashemi, 2018). Według doniesień medialnych (np.: Center for Strategic and International Studies) dron bojowy Shahed-238/Geran-3 przemieszcza się z prędkością 550-600 km/h. Na tej podstawie można oszacować w jakim czasie dotrze do określonego budynku od momentu przekroczenia granicy (zakładany czas detekcji zagrożenia) do potencjalnego celu. Wynosi on dla celów w odległości 100 km od granicy kraju, dla drona typu Shahed-136 - 40 minut a dla drona typu Shahed-238/Geran-3 - 10 minut.

Bazując na przytoczonych danych oraz informacjach zawartych w poradniku (Taran *i in.*, 2023) można założyć, że czas rekomendowany od momentu ogłoszenia alarmu o ataku powietrznym do czasu w jakim ludność cywilna powinna znaleźć się w obiekcie zbiorowej ochrony (np. miejscu doraźnego schronienia) wynosi od 1,5 min do 10 min.

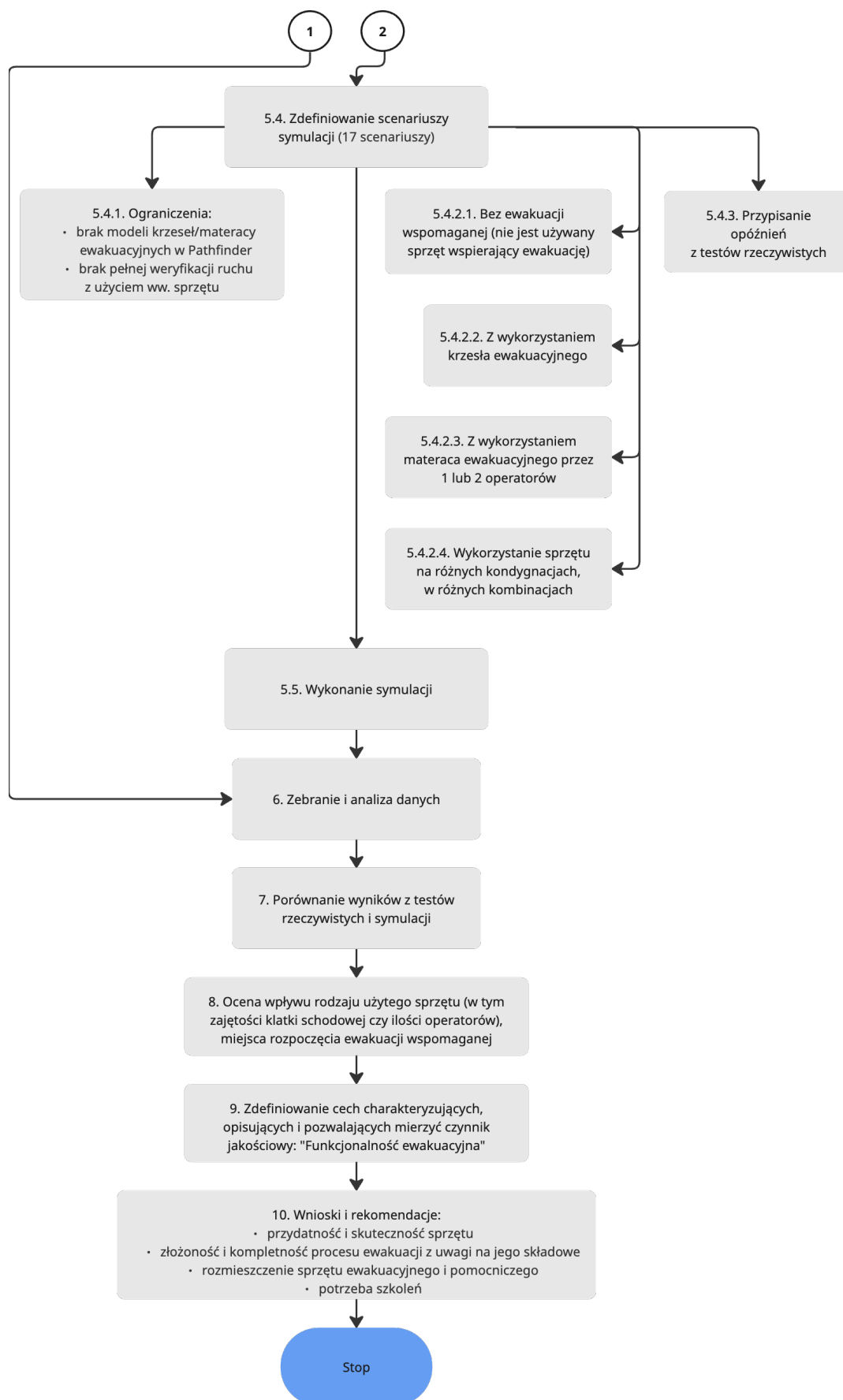
W wielu budynkach z uwagi na jego wielkość może to być niemożliwie. Dlatego tym bardziej istotne jest odpowiednie rozmieszczenie sprzętu ewakuacyjnego w taki sposób w obiekcie, aby był on dostępny na każdej kondygnacji budynku niezwłocznie. Tylko takie podejście zapewni możliwości rozpoczęcia ewakuacji wspomaganej bez zbędnej zwłoki. Ta informacja ma znaczenie strategiczne dla zarządcy obiektu, aby świadomie zarządzać procesem ewakuacji wspomaganej. Proces ten jak wskazują badawcze (Adams i Galea, 2011; Hunt, 2016; Migas, Butlewski i Sydor, 2023; Rice *i in.*, 2024) musi zostać odpowiednio zaplanowany i przygotowany (rodzaj, lokalizacja, ilość sprzętu ewakuacyjnego) a następnie przećwiczony, aby został przeprowadzony skutecznie.

Jednym z nowych czynników jakościowych jest „funkcjonalność ewakuacyjna”. W celu weryfikacji tego czynnika przeprowadzono testy w skali rzeczywistej oraz symulację ewakuacji w programie Pathfinder (Rev. 2024.2.1209, Thunderhead Engineering Consultants Inc., Manhattan, Kansas, USA). Jednym z kluczowych wskaźników skuteczności sprzętu ewakuacyjnego jest to jak szybko może zostać użyty i jak jego funkcjonalność wpływa na czas całego procesu ewakuacji w odniesieniu do osoby ewakuowanej, operatora, innych osób ewakuujących się z budynku. Kolejnym istotnym elementem jest to, gdzie w obiekcie i w jakiej ilości zostanie on rozmieszczony. Przekłada się to na szybkość ewakuacji, ale także na koszty związane z jego zakupem i utrzymaniem w wysokiej jakości. Również ważnym aspektem jest wdrożenie procedur dla ewakuacji wspomaganej – bez odpowiedniego przygotowania się do tego procesu nie będzie on mógł być zrealizowany w sposób optymalny. Wśród analizowanych źródeł uwzględniono publikacje naukowe, m.in. (Kuligowski *i in.*, 2015a), które dostarczają danych na temat prędkości przemieszczania się ratowników z krzesłami ewakuacyjnymi. Przeprowadzone testy rzeczywiste i symulacja ewakuacji dają podstawy do stwierdzenia, że średnia prędkość ewakuacji pionowej w budynkach 6- i 13-kondygnacyjnych wynosi od 0,18 do 0,25 m/s i zależy od liczby ratowników oraz ich rozkładu. Najwyższą prędkość osiągnięto przy konfiguracji: jeden ratownik z przodu, jeden z tyłu, jeden niosący balkonik. Warto również zwrócić uwagę na badania zespołu *Adamsq i Galei* (Adams i Galea, 2011) porównujące różne konfiguracje operatorów i ich wpływ na czas ewakuacji, podkreślając istotną rolę fizycznego ustawienia ratowników.

W celu sprawdzenia zależności wskaźników mających wpływ na szybkość ewakuacji, bezpieczeństwo i komfort użytkowników oraz optymalne rozmieszczenie i wykorzystanie sprzętu ewakuacyjnego przeprowadzono badanie zgodnie z poniższą metodyką (Rysunek 21 i 22) stanowiącą opracowanie własne na potrzeby identyfikacji i weryfikacji tych składowych czynnika jakościowego „Funkcjonalność ewakuacyjna”, które będą najistotniejsze dla podmiotu badań.



Rysunek 21. Schemat blokowy metodyki badawczej dla czynnika jakościowego „Funkcjonalność ewakuacyjna” cz. 1 (źródło: opracowanie własne).



Rysunek 22. Schemat blokowy metodyki badawczej dla czynnika jakościowego „Funkcjonalność ewakuacyjna”, cz. 2 (źródło: opracowanie własne).

Celem testów było również przebadanie wskaźników jakościowych jakie mają wpływ na nowo zdefiniowany czynnik jakościowy: „Funkcjonalność ewakuacyjna”. Kwestie związane z bezpieczeństwem ewakuacji i ich szczegółowa analiza nie były głównym celem badań a jedynie narzędziem do określenia wskaźników jakościowych. W analizie przywołano tylko te dane i parametry, które były niezbędne do przeprowadzenia testów i symulacji. Wyniki z przeprowadzonych badań mogą posłużyć i być wykorzystane w przyszłych symulacjach ewakuacji do bardziej precyzyjnego określania jej całkowitego czasu trwania, gdy prowadzona jest ewakuacja wspomagana przy użyciu krzesła ewakuacyjnego lub materaca ewakuacyjnego.

Pierwszy etap badań obejmował przeprowadzenie testów w warunkach zbliżonych do rzeczywistych tj.:

- w budynku ZL III zagrożenia ludzi – kwalifikacja zgodnie z §209 ust. 2 pkt. 3 (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, *przywołane dalej jako WT*), biurowym typu *open space*, spełniającym wymagania wskazane WT,
- budynek wysoki zgodnie z §8 pkt. 3 (WT) o 11 kondygnacjach nadziemnych,
- ewakuacja prowadzona z 11 i z 6 kondygnacji budynku,
- drzwi do przedsionka z przestrzeni biurowej o szerokości w świetle ościeżnicy: 90 cm,
- drzwi na klatkę schodową z przedsionka przestrzeni biurowych o szerokości: 90 cm,
- drzwi wyjściowe na zewnątrz obiektu o szerokości: 120 cm - łączna szerokość spełniająca wymagania wskazane w warunkach techniczno-budowlanych,
- szerokość biegu klatki schodowej: 120 cm,
- głębokość stopnia: 27 cm,
- wysokość stopnia: 17,5 cm,
- liczba stopni w jednym biegu: 10 (dwa biegi w ramach jednej kondygnacji),
- szerokość spocznika: 155 cm,

- wysokość każdej kondygnacji: 3 m.

Na potrzeby symulacji przeprowadzonej w drugim etapie badań przyjęto:

- model budynku o takich samych parametrach technicznych jak w części pierwszej badań – pozwoliło to na porównanie osiągniętych wyników, a dodatkowe symulacje, które nie mogły zostać przeprowadzane w skali rzeczywistej (jak choćby ewakuacja jednoczesna wszystkich osób z analizowanej części budynku, łącznie 550 osób) przyjąć jako oparte na właściwych założeniach,
- w symulacjach przyjęto, że na każdej kondygnacji przebywa 50 osób.

Istotne dla prawidłowego zamodelowania scenariuszy ewakuacji było zmierzenie jaką ilość miejsca na poziomej i pionowej drodze ewakuacyjnej zajmuje krzesło ewakuacyjne z operatorem oraz jakie ma wymiary materac ewakuacyjny z jednym lub dwoma operatorami. Były to dane niezbędne do prawidłowego przyjęcia danych wejściowych w symulacji.

W badaniach zostało użyte krzesło ewakuacyjne na stałych czterech kołach (mod. Falcon 2.0, prod. EnSafe.One, Zabierzów, Polska), materac ewakuacyjny (mod. PRIME, prod. EnSafe.One, Zabierzów, Polska) oraz manekin ewakuacyjny o masie 80 kg.

Przyjęty w symulacjach wymiar wzdłużny krzesła ewakuacyjnego na czterech stałych kołach wraz z jego operatorem wynosił 1,3 m na drodze poziomej (Rysunek 23).



Rysunek 23. Ewakuacja w poziomie na krześle ewakuacyjnym (EnSafe.One FALCON evacuation chair, 2024) (źródło: EnSafe.One).

Na drodze pionowej wymiar ten wynosił 1,8 m (Rysunek 24) i został przyjęty do symulacji w drugiej fazie badań jako bardziej niekorzystny. Szerokość operatora z krzesłem ewakuacyjnym każdorazowo wynosiła 0,6 m w każdym przypadku.



Rysunek 24. Ewakuacja w pionie na krześle ewakuacyjnym (EnSafe.One FALCON evacuation chair, 2024) (źródło: EnSafe.One).

Materac ewakuacyjny (wykorzystywany przez jednego operatora, który znajduje się z przodu i ciągnie materac) miał wymiar wzdłużny na poziomej drodze ewakuacyjnej, przy maksymalnym naciągnięciu pasów 3,6 m. Wymiar wzdłużny na pionowej drodze ewakuacyjnej był zmienny i wahał się od około 2,4 m (gdy zjeżdżający materac ewakuacyjny po schodach opierał się na nogach operatora) do maksymalnie około 2,9 m (gdy był ciągnięty, na przykład na spoczniku, przy naciągnięciu pasów do połowy ich długości z uwagi na ograniczoną przestrzeń na klatce schodowej). Szerokość ratownika wraz z matercem ewakuacyjnym w każdym przypadku wynosiła 0,6 m.

Materac ewakuacyjny PRIME z dwoma operatorami (z przodu i z tyłu materaca ewakuacyjnego) miał wymiar wzdłużny na poziomej drodze ewakuacyjnej przy maksymalnym naciągnięciu pasa z przodu materaca ewakuacyjnego około 4,0 m. Drugi operator podążał za matercem ewakuacyjnym, kontrolował go i pomagał w manewrowaniu, co zostało zobrazowane na Rysunku 25.



Rysunek 25. Ewakuacja w poziomie na materacu ewakuacyjnym (PRIME) z dwoma ratownikami (operatorami) (EnSafe.One FALCON evacuation chair, 2024) (źródło: EnSafe.One).

Wymiar wzdłużny materaca ewakuacyjnego na pionowej drodze ewakuacyjnej był zmienny i wynosił od około 2,5 m (gdy zjeżdżający materac po schodach wspiera się na nogach ratownika znajdującego się przed nim, a drugi ratownik jest nad matercem ewakuacyjnym, kontroluje go i pomaga w manewrowaniu). Do maksymalnie około 3,0 m (gdy jest ciągnięty np. na spoczniku, przy częściowym naciągnięciu pasów z uwagi na ograniczone miejsce na klatce schodowej). Szerokość ratownika/operatora wraz z matercem ewakuacyjnym w każdym przypadku wynosiła 0,6 m.

W badaniach i analizach zastosowano manekin ratowniczy (Rysunek 26) o parametrach: wysokość 1,8 m; masa całkowita 80 kg; wymiar ręki tj. długość oraz obwód: 73 × 38 cm; masa ręki około 5 kg; wymiar tułowia tj. długość oraz obwód: 70 × 97 cm; masa tułowia: 50 kg; wymiar głowy tj. długość i obwód: 35 × 68 cm; masa głowy: 2 kg; wymiar nogi tj. długość i obwód: 75 × 59 cm; masa nogi: 9 kg.



Rysunek 26. Manekin ratowniczy (źródło: EnSafe.One, („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

W badaniach zastosowano również sprzęt pomocniczy do transferu osoby ewakuowanej „na” i „ze” sprzętu ewakuacyjnego, noszak transferowy (Rysunek 27).



Rysunek 27. Noszak transferowy do przenoszenia osoby ewakuowanej (źródło: EnSafe.One, („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

W celu porównania otrzymanych wyników w ramach testów jakie zostały przeprowadzenie w I i II części badań przyjęto takie same założenia dla całego ich przebiegu. Pozwoliło to wyciągnięcie szerszych wniosków.

Przyjęto, że budynek jest wyposażony w sprzęt ewakuacyjny zgodnie z zapisami normy (PN-EN 17210, 2021), tzn. co najmniej jedno krzesło ewakuacyjne i materac ewakuacyjny znajduje się na każdej kondygnacji, przy każdej ewakuacyjnej klatce schodowej oraz w miejscu, gdzie może przebywać, znajdować się stałe miejsce pracy osoby ze szczególnymi potrzebami (założone dwa takie miejsca w budynku tj. po jednym na 6 i 11 kondygnacji). Celem pośrednim badań było również potwierdzenie lub nie czy rozmieszczenie sprzętu ewakuacyjnego zgodnie ze wskazaniem polskiej normy są zasadne i wystarczające.

Proces ewakuacji jaki został poddany badaniom przebiegał następująco:

- po usłyszeniu alarmu i przeprowadzeniu rozpoznania następowało zabranie krzesła ewakuacyjnego lub materaca ewakuacyjnego, które znajduje się obok pomieszczenia wraz z rozłożeniem i uzyskaniem gotowości do użycia,
- samotransfer lub transfer wspomagany z wózka lub innego miejsca w jakim znajduje się osoba ewakuowana,
- zapięcie i regulacja pasów,
- ewakuacja po poziomej drodze ewakuacyjnej o długości 20 m na 11 i/lub 6 kondygnacji,
- ewakuacja po pionowej drodze ewakuacyjnej z 11 i/lub 6 kondygnacji,

- ewakuacja po poziomej drodze ewakuacyjnej na parterze budynku (pierwszej kondygnacji nadziemnej) o długości 20 m do miejsca przekazania osoby ewakuowanej służbom ratowniczym (na potrzeby badania założono przekazanie osoby ewakuowanej zaraz za drzwiami ewakuacyjnymi na zewnątrz budynku),
- transfer z krzesła ewakuacyjnego lub materaca ewakuacyjnego na inny sprzęt służb ratowniczych.

Kolejnym założeniem badań było postępowanie według zasady, że proces ewakuacji jest złożonym przedsięwzięciem i należy przeanalizować go w sposób pełny oraz szczegółowy. W wielu badaniach pojawia się informacja nt. szybkości ewakuacji (jak wcześniej wskazano na początku rozdziału) czy czasu ewakuacji jak (Adams i Galea, 2011; Lavender *i in.*, 2014; Lavender, Jay P. Mehta, *i in.*, 2015), ale nie są podawane oraz ujmowane szczegółowe informacje nt. tego:

- czy dokonano analizy i uwzględniono czas potrzebny na zabranie sprzętu ewakuacyjnego i gdzie on znajduje się standardowo w budynku,
- czy uwzględniono czas niezbędne na transfer osoby „na” i „ze” sprzętu ewakuacyjnego,
- jak dokonano tego transferu w szczególności osób, które nie mogą same przenieść się na sprzęt ewakuacyjny,
- jaka jest faktycznie potrzebna liczba osób na dokonanie takiego transferu w zależności od występującej sytuacji (dostępnego sprzętu ewakuacyjnego; stanu fizycznego i psychicznego ratowników / operatorów jak i osób ewakuowanych).

Z perspektywy praktycznej transfer osoby ewakuowanej ma największe znaczenie, ponieważ proces transferu tej osoby na sprzęt ewakuacyjny może być w wielu przypadkach bardzo trudny lub w przypadku posiadania tylko krzesła ewakuacyjnego albo tylko materaca ewakuacyjnego niemożliwy bądź niebezpieczny dla zdrowia osoby ewakuowanej i/lub ratownika. Proces ten może mieć krytyczny wpływ na czas ewakuacji (t_{ewak}) a w szczególności na czas przemieszczania (t_p), ponieważ jego błędne oszacowanie, pominięcie lub niedoszacowanie będzie w konsekwencji miało ogromny wpływ na całkowity czas ewakuacji, gdy liczą się często sekundy a nie minuty.

W szczególności podczas pożaru lub zagrożenia związanego z konfliktem zbrojnym sytuacja może zmieniać się dynamicznie i w stosunkowo krótkim czasie może dojść do takiej zmiany w obszarze budynku, która uniemożliwia przeprowadzenie ewakuacji bez specjalistycznego sprzętu służb ratowniczych. Dlatego tak ważne jest odpowiednie zarządzanie ewakuacją od etapu przygotowania się do niej, ćwiczeń i szkoleń a nie tylko jej realizacji, gdy następuje taka konieczność.

Aspekt ten jest, póki co często pomijany nie tylko podczas badań, ale również podczas szkoleń z użycia sprzętu ewakuacyjnego. Konsekwencją jest to, że może dojść do sytuacji niebezpiecznych dla zdrowia osób zaangażowanych w ten proces lub do zaniechania ewakuacji. Odpowiednie uświadomienie osób decyzyjnych odpowiedzialnych za zarządzanie procesem ewakuacji o tych aspektach a następnie ich przygotowanie do tego, istotnie wpłynie na efektywność tych działań.

3.2.2.2 Testy rzeczywiste poszczególnych etapów ewakuacji

Z uwagi na brak spopularyzowanej wiedzy w zakresie technik, ale też czasu jaki jest niezbędny do przeprowadzenia każdego z etapów procesu ewakuacji wspomaganiej krzesłem ewakuacyjnym lub materacem ewakuacyjnym postanowiono przed przystąpieniem do testów pełnej ewakuacji przeprowadzić testy każdego z jej elementów.

W tym celu rozstrzygnięto następujące kwestie:

- 1a. Ile czasu zajmuje transfer z wózka na krzesło ewakuacyjne (manekin 80 kg + 1 operator)?
- 1b. Ile czasu zajmuje transfer z wózka na krzesło ewakuacyjne z użyciem noszaka transferowego (manekin 80 kg + operator + pomocnik)?
- 1c. Ile czasu zajmuje transfer z posadzki na krzesło ewakuacyjne (manekin 80 kg + operator + pomocnik)?
- 2a. Ile czasu zajmuje transfer z wózka na materac ewakuacyjny (manekin 80 kg + 1 operator)?

- 2b. Ile czasu zajmuje transfer z wózka na materac ewakuacyjny z użyciem noszaka transferowego (manekin 80 kg + operator + pomocnik)?
- 2c. Ile czasu zajmuje transfer z posadzki na materac ewakuacyjny z użyciem noszaka transferowego (manekin 80 kg + 1 osoba + pomocnik)?
3. Ile czasu zajmuje przejazd / przeciągnięcie na sprzęcie ewakuacyjnym osoby ewakuowanej z pomieszczenie do klatki schodowej po poziomej drodze ewakuacyjnej o długości 20 m?
4. Ile czasu zajmuje ewakuacja pionową drogą ewakuacją (klatką schodową) z 11 kondygnacji na 1 kondygnację nadziemną krzesłem ewakuacyjnym?
5. Ile czasu zajmuje ewakuacja pionową drogą ewakuacją (klatką schodową) z 11 kondygnacji na 1 kondygnację nadziemną matercem ewakuacyjnym?
6. Ile czasu zajmuje transfer z krzesła ewakuacyjnego na wózek (alternatywnie nosze) w miejscu przekazania osoby ewakuowanej służbom ratowniczym?
7. Ile czasu zajmuje transfer z materaca ewakuacyjnego na wózek / nosze w miejscu przekazania osoby ewakuowanej służbom ratowniczym?

W testach w warunkach rzeczywistych przyjęto, że klatka schodowa będzie pusta tzn. nie będą się nią poruszać inne osoby. Zasymulowanie ewakuacji 50 osób z każdej kondygnacji w warunkach rzeczywistych nie było możliwe.

Opisywane testy zostały przeprowadzone z udziałem dwóch mężczyzn w wieku 40 i 42 lat o wzroście i masie ciała odpowiednio 178 cm / 67 kg oraz 184 cm / 78 kg oraz manekina ratowniczego symulującego gabaryty człowieka o wzroście 180 cm i masie 80 kg. Wyniki przeprowadzonych badań zawarto w Tabeli 5.

Tabela 5. Zestawienie wyników uzyskanych podczas prowadzenia testów w skali rzeczywistej (źródło: opracowanie własne).

Nazwa scenariusza	Rodzaj sprzętu ewakuacyjnego	Rodzaj czynności	Liczba ratowników	Czas (s)	Uwagi
1a	Krzeseło ewakuacyjne	zabranie krzeseła ewakuacyjnego, które znajduje się obok pomieszczenia i przygotowanie do użycia	1	10	---
		transfer z wózka		25	wykonanie tej czynności wymaga posiadania odpowiedniej siły i techniki przenoszenia od operatora; w innym przypadku istnieje realne zagrożenie uszkodzenia kręgosłupa operatora w odcinku lędźwiowym
		zapięcie i regulacja pasów		5	duży wpływ na tę czynność ma rodzaj zastosowanych pasów; pasy samolotowe pozwalają na bardzo szybką regulację i zapięcie
	Czas sumaryczny			40	---
1b	Krzeseło ewakuacyjne	zabranie krzeseła ewakuacyjnego, które znajduje się obok pomieszczenia i przygotowanie do użycia	2	10	---
		transfer z wózka przy użyciu noszaka transferowego		15	metoda transferu przez dwóch ratowników z zastosowaniem noszaka transferowego jest bezpieczna dla zdrowia osób wykonujących

					transfer; ponadto zostaje zapewniony dużo większy komfort dla osoby ewakuowanej – nie jest ona dotykana bezpośrednio przez osoby tylko znajduje się w noszaku transferowym
		zapięcie i regulacja pasów		5	uwaga jak w 1a
	Czas sumaryczny			30	---
1c	Krzeseło ewakuacyjne	zabranie krzesła ewakuacyjnego, które znajduje się obok pomieszczenia i przygotowanie do użycia	2	10	---
		transfer z posadzki przy użyciu noszaka transferowego		15	uwaga jak w 1b
		zapięcie i regulacja pasów		5	uwaga jak w 1a
	Czas sumaryczny			30	---
	nie przeprowadzono z sukcesem transferu osoby ewakuowanej na krzesło ewakuacyjne z posadzki tylko przez jedną osobę, ponieważ po kilku nieudanych próbach w warunkach testów, dalsze próby uznano za zbyt ryzykowne dla zdrowia operatora				
2a	Materac ewakuacyjny	zabranie materaca ewakuacyjnego, który znajduje się obok pomieszczenia i przygotowanie do użycia	1	10	---
		transfer z wózka		25	bardzo trudne w realizacji, nie rekomendowane przez jednego ratownika/operatora; samotransfer z wózka na materac ewakuacyjny nie jest rekomendowany – ryzyko wywrócenia,

					przeważenia się wózka nawet jak ma zaciągnięty hamulec
		zapięcie klap i regulacja pasów		5	duży wpływ na tę czynność ma rodzaj zastosowanych klap i pasów
		Czas sumaryczny		40	---
2b	Materac ewakuacyjny	zabranie materaca ewakuacyjnego, który znajduje się obok pomieszczenia i przygotowanie do użycia	2	10	---
		transfer z wózka przy użyciu noszaka ewakuacyjnego		15	metoda transferu przez dwóch ratowników / operatorów z zastosowaniem noszaka transferowego bezpieczna dla zdrowia osób wykonujących transfer; ponadto zostaje zapewniony dużo większy komfort dla osoby ewakuowanej jak opisano wcześniej
		zapięcie klap i regulacja pasów		5	uwaga jak w 2a
		Czas sumaryczny		30	---
	2c	Materac ewakuacyjny	zabranie materaca ewakuacyjnego, który znajduje się obok pomieszczenia i przygotowanie do użycia	2	10
transfer z posadzki przy użyciu noszaka transferowego			15		uwaga jak w 2b
zapięcie klap i regulacja pasów			5		uwaga jak w 2a

	Czas sumaryczny			30	---
3	Krzeseło ewakuacyjne / materac ewakuacyjny	przejazd krzesłem ewakuacyjnym / przeciągnięcie materaca ewakuacyjnego z pomieszczenie do klatki schodowej (20 m)	1	15 s	pomiar czasu dokonano, gdy ratownik / operator szedł pchając krzesło ewakuacyjne lub ciągnąc materac ewakuacyjny a nie biegnąc
4	Krzeseło ewakuacyjne	ewakuacja z 11 kondygnacji na parter obiektu krzesłem ewakuacyjnym FALCON 2.0 (pustą klatką schodową; nie była równocześnie prowadzona ewakuacja innych osób)	1	190 s (3 minuty 10 sekund)	średni czas jaki potrzebny jest do zjazdu przez jedną kondygnację wynosi ok. 20 s; na większej ilości kondygnacji, pustej klatce schodowej i zachowaniu płynności zjazdu można osiągnąć większą prędkość zjazdu i tym samym krótszy czas ewakuacji
5	Materac ewakuacyjny	ewakuacja z 11 kondygnacji na parter obiektu matercem ewakuacyjnym PRIME (pustą klatką schodową; nie była równocześnie prowadzona ewakuacja innych osób)	1	150 s (2 minuty 30 sekund)	liczba ratowników używających materac ewakuacyjny nie ma aż tak dużego wpływu na szybkość ewakuacji a bardziej na większy komfort i bezpieczeństwo osoby ewakuowanej (większa kontrola materaca ewakuacyjnego w jego górnej części gdzie znajduje się głowa osoby ewakuowanej); ewakuacja na materacu ewakuacyjnym jest realizowana szybciej niż na krześle ewakuacyjnym; do istotnych minusów należy zaliczyć znacznie większą

					zajętość klatki schodowej względem krzesła ewakuacyjnego, co może mieć istotne znaczenie w przypadku gdy klatką schodową będzie prowadzona ewakuacja innych osób lub działania ratownicze w kierunku przeciwnym do ewakuacji
6	Krzesło ewakuacyjne / materac ewakuacyjny	przejazd krzesłem ewakuacyjnym / przeciągnięcie materaca ewakuacyjnego z klatki schodowej do miejsca przekazania (20 m na poziomej drodze ewakuacyjnej)	1	15 s	pomiar czasu dokonano, gdy ratownik / operator szedł pchając krzesło ewakuacyjne lub ciągnąc materac ewakuacyjny a nie biegnąc
7	Krzesło ewakuacyjne	transfer z krzesła ewakuacyjnego na wózek / nosze przy użyciu noszaka transferowego	2	15	w miejscu przekazania osoby ewakuowanej służbom ratowniczym w większości przypadków (i takie jest założenie w tym scenariuszu) będzie więcej osób niż jedna, które będą mogły przeprowadzić transfer ze sprzętu ewakuacyjnego na wózek lub nosze, dlatego nie zajmie to więcej czasu niż w przypadku transferu przy udziale dwóch osób; istotne jest aby w miejscu przekazania osoby

					ewakuowanej służbom ratowniczym był odpowiedni sprzęt (wózek / nosze) na które można je przełożyć – kwestią wtórną jest kto powinien je zabezpieczyć; w Polskich warunkach w opinii autora badań powinien być to właściciel, zarządca obiektu lub inna osoba odpowiedzialna za bezpieczeństwo osób w nim przebywających; zabezpieczenie tego typu sprzętu nie leży po stronie służb ratowniczych i nie można zakładać, że będą dysponowały tego typu wyposażeniem
8	Materac ewakuacyjny	transfer z materaca ewakuacyjnego na wózek / nosze przy użyciu noszaka transferowego	2	15	uwaga jak w 7

Istotnym z punktu widzenia autora badań jest podział poszczególnych czynności w ramach danego scenariusza, ponieważ pozwala to na bardziej precyzyjne i niezależne wykorzystanie danych z przeprowadzonych testów w przypadku, gdy scenariusz danego testu zostanie zmodyfikowany.

Na potrzeby testów przyjęto, że krzesła ewakuacyjne i materace ewakuacyjne rozmieszczone są zgodnie z normą PN-EN 17210:2021 jak opisano wcześniej.

Wnioski z pierwszej fazy badań przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych:

A. Zidentyfikowano, że na czynnik jakościowy pn. „Funkcjonalność ewakuacyjna” ma wpływ sześć kluczowych wskaźników:

- stabilność na posadzce,
- stabilizacja na sprzęcie ewakuacyjnym,
- poczucie bezpieczeństwa,
- możliwość przenoszenia sprzętu ewakuacyjnego w celu ewakuacji w górę po schodach, nad wysokimi przeszkodami czy na zewnątrz obiektu,
- masa sprzętu,
- system jezdny, ślizgowy zdolny do przejechania określonej liczby kondygnacji.

„Funkcjonalność ewakuacyjna” to czynnik jakościowy przy wykorzystaniu, którego można lepiej zarządzać ewakuacją wspomaganą, ponieważ dostarcza poniższych informacji i może być mierzony zaproponowaną przez autora rozprawy metodyką:

a. Stabilność sprzętu na posadzce:

- czy sprzęt wymaga przytrzymania zabezpieczenia, gdy ktoś na niego się przesiada lub jest przenoszony? Tak: 0 pkt., Nie: 1 pkt.
- czy sprzęt posiada dodatkowy hamulec kół, który zabezpiecza przed jego przemieszczaniem się (w przypadku krzesła ewakuacyjnego)?

Tak: 1 pkt., Nie: 0 pkt.

- czy jest możliwość transferu osoby ewakuowanej na sprzęt ewakuacyjny przez jedną osobę (dotyczy osób o wadze 50-70 kg bez jej pomocy)?

Tak: 1 pkt., Nie: 0 pkt.

b. Stabilizacja na sprzęcie:

- czy posiada co najmniej dwa zapinane i regulowane pasy? Tak: 1 pkt., Nie: 0 pkt.

c. Poczucie bezpieczeństwa:

- krzesło ewakuacyjne

- czy posiada dodatkowe uchwyty do trzymania się?

Tak: 1 pkt., Nie: 0 pkt.

- czy nie ma konieczności wychylenia krzesła ewakuacyjnego do przodu wraz z osobą ewakuowaną w celu przygotowania krzesła ewakuacyjnego do zjazdu w dół po schodach (jak w przypadku krzeseł ewakuacyjnych na dwóch stałych kołach), co może powodować panikę ewakuacji jak wskazuje⁴?

Tak 1 pkt., Nie: 0 pkt.

- materac ewakuacyjny

- czy posiada zabezpieczenie po jego bokach z dodatkowej pianki, gąbki (lub innego materiału spełniającego taką samą funkcję), aby osoba ewakuowana nie odczuwała uderzeń w ścianę czy barierkę; poprawia to komfort psychiczny i jednocześnie zabezpiecza przed urazami?

Tak 1 pkt., Nie: 0 pkt.

d. Możliwość przenoszenia sprzętu ewakuacyjnego w celu ewakuacji w poziomie, w górę po schodach i na zewnątrz obiektu:

- krzesło ewakuacyjny

- czy zostało wyposażone w uchwyty górne i dolne do przenoszenia osoby na krześle ewakuacyjnym w górę po schodach lub nad przeszkodami?

Tak 1 pkt., Nie: 0 pkt.

- materac ewakuacyjny:

- czy posiada uchwyty do przenoszenia w górę po schodach (co najmniej 8 szt.; po 4 szt. z każdego dłuższego boku materaca ewakuacyjnego), nad wysoką przeszkodą lub w poziomie na zewnątrz obiektu?

⁴ Consumer opinion of stair descent devices used during emergency evacuation from high-rise buildings. Glenn Hedman MS, Jay Mehta PhD, Steven Lavender PhD, Paul Reichelt PhD, Karen Conrad PhD & Sanghyun Park PhD. 2019.

Tak 1 pkt., Nie: 0 pkt.

- e. Czy masa sprzętu jest nie większa niż 23 kg (dla krzesła ewakuacyjnego z napędem elektrycznym do 30 kg)?

Tak 1 pkt., Nie: 0 pkt.

- f. Czy system jezdny, ślizgowy umożliwia przejechanie co najmniej:

- 300 kondygnacji w dół po schodach (krzesło ewakuacyjne napędzane siłą ludzkich mięśni)?

Tak 1 pkt., Nie: 0 pkt.

- 150 kondygnacji w systemie mieszanym w górę i w dół (krzesło ewakuacyjne z napędem elektrycznym)?

Tak 1 pkt., Nie: 0 pkt.

Maksymalna wartość punktowa czynnika jakościowego „Funkcjonalność ewakuacyjna” może wynieść dla:

- Krzesła ewakuacyjnego: 9 pkt.
- Materaca ewakuacyjnego: 6 pkt.

W celu stwierdzenia, uznania, że sprzęt ewakuacyjny spełnia wymagania wskazane dla czynnika jakościowego „Funkcjonalność ewakuacyjna” musi uzyskać komplet punktów.

- B. Czynniki jakościowe „Funkcjonalność ewakuacyjna” w odniesieniu do danego sprzętu ewakuacyjnego może zostać również oceniony punktowo i im większa ilość uzyskanych punktów tym dany sprzęt ewakuacyjny jest bardziej użyteczny i zapewnia możliwość przeprowadzenia ewakuacji wspomaganej w łatwiejszy oraz skuteczniejszy sposób. By jednak określić, że dany sprzęt ewakuacyjny spełnia kryteria czynnika jakościowego „Funkcjonalność ewakuacyjna” musi on uzyskać komplet punktów dla określonego wyrobu tj. 9 pkt. dla krzesła ewakuacyjnego oraz 6 pkt. dla materaca ewakuacyjnego jak wskazano w pkt. A.

- C. Czas transferu na sprzęt ewakuacyjny oraz całego procesu przemieszczania (t_p) podczas ewakuacji jest bardzo uzależniony od doświadczenia, techniki, sprawności

psychofizycznej operatora oraz osoby ewakuowanej; czasy uzyskane w trakcie przeprowadzonych testów należy traktować poglądowo i mogą w innych próbach, badaniach być krótsze nawet o 50-60% ale i zdecydowanie dłuższe nawet kilkukrotnie z uwagi wskazane parametry. Zawarte w Tabeli 5 wartości czasu poszczególnych procesów odpowiadają na szóste pomocnicze pytanie badawcze (PPB6). Kluczowe do sprawnego i bezpiecznego przeprowadzenia procesu ewakuacji wspomaganej oraz zarządzania nim przy wykorzystaniu sprzętu ewakuacyjnego jest odpowiednie przygotowanie. Niezbędny jest odpowiedni sprzęt ewakuacyjny i jego wdrożenie poprzez szkolenie z jego użycia w warunkach możliwie zbliżonych do rzeczywistych. Rekomendowane jest użycie manekina o zmiennej masie np. od 30 do 80 kg tak, aby transferowany na sprzęt ewakuacyjny nie był człowiek, który może pomagać ratownikowi / operatorowi w przypadku, gdy dany scenariusz tego nie przewiduje tylko operator musiał sam lub z pomocą wykonać transfer manekina i przekonać się jak może to być trudne oraz skomplikowane przedsięwzięcie. Takie szkolenie obrazuje realne problemy jakie występują podczas transferu osoby z ograniczoną mobilnością na sprzęt ewakuacyjny.

- D. Porównując czasy ze scenariusza 1a i 1b należy brać pod uwagę doświadczenie operatorów, którzy brali udział w badaniu oraz fakt, że w przypadku, gdy transfer prowadzi jeden operator bardzo wzrasta ryzyko wystąpienia urazu kręgosłupa w odcinku lędźwiowym na co zwraca się coraz większą uwagę. Ryzyko takie również istnieje, gdy transfer wykonują dwie osoby bez odpowiedniego sprzętu pomocniczego. Kwestia minimalizacji wysiłku osób przenoszących pacjenta została również wskazana w normie (PN-EN 1865-4:2012).
- E. Mając na uwadze wskazane w pkt. D zagrożenia rekomenduje się realizację transferu osoby ewakuowanej przez dwie osoby przy użyciu noszaka transferowego lub innego sprzętu pomocniczego, który to umożliwi w podobny sposób. Zapewnia to znacznie wyższy poziom bezpieczeństwa dla zdrowia ratowników / operatorów i o wiele wyższy komfort oraz poczucie godności dla osoby ewakuowanej – nie jest ona dotykana bezpośrednio w pobliżu miejsc intymnych jak krocze czy piersi. Komfort osoby ewakuowanej nie jest priorytetem podczas ewakuacji jednak w tym przypadku jest wypadkową użycia noszaka transferowego dbając o zdrowie ratowników /

operatorów. Powyższe jest też odpowiedzią na siódme pomocnicze pytanie badawcze (PPB7) i na podstawie przeprowadzonych testów stwierdza się, że nie zawsze jest możliwy transfer osoby ewakuowanej przez jednego operatora na sprzęt ewakuacyjny.

- F. Zarządzając procesem ewakuacji wszystkich osób z budynku należy uwzględnić czas (opóźnienia) jaki jest potrzebny w przypadku ewakuacji wspomaganej sprzętem ewakuacyjnym. Jest to czas potrzebny na lokalizację i przeniesienie sprzętu ewakuacyjnego, jego rozłożenie, transfer osoby ewakuowanej na ten sprzęt, odpowiednie zabezpieczenie, zapięcie, następnie ewakuację w poziomie, pionie i ponownie w poziomie do miejsca przekazania osoby ewakuowanej służbom ratowniczym wraz z transferem z tego sprzętu na inny, jak wózek czy nosze. Badania wskazały jakie czasy mogą być przyjmowane na realizację ww. czynności. Tylko takie podejście pozwala na przyjęcie realistycznego czasu przemieszczenia (t_p).
- G. Istotne z uwagi na prawidłową organizację ewakuacji jest to, aby w miejscu przekazania osoby ewakuowanej służbom ratowniczym był odpowiedni sprzęt (wózek / nosze) na który można tę osobę przełożyć – kwestią wtórną jest kto powinien taki sprzęt zapewnić. W Polskich warunkach prawnych w opinii autora badań powinien być to zarządca obiektu lub inna osoba faktycznie nim zarządzająca, odpowiedzialna za bezpieczeństwo osób przebywających w tym budynku. Zabezpieczenie tego typu sprzętu nie leży po stronie służb ratowniczych i nie można zakładać, że będą one dysponowały tego typu wyposażeniem. W każdym innym kraju obowiązują lokalne wymagania i standardy, dlatego odpowiedzialność w tym zakresie może być inna i należy to lokalnie zweryfikować.
- H. Pierwszy etap badań wykazał, że w zależności od stanu psychofizycznego osoby ewakuowanej oraz operatorów biorąc pod uwagę łatwość i szybkość transferu, preferowane może być użycie krzesła ewakuacyjnego lub materaca ewakuacyjnego. Jednym z przykładów jest sytuacja, gdy osoba ewakuowana może o własnych siłach dokonać samotransferu z wózka wówczas lepszym rozwiązaniem może okazać się krzesło ewakuacyjne. Gdy jednak osoba ewakuowana nie może sama się poruszać i/lub ma problemy z utrzymaniem stabilnej pozycji ciała wówczas lepszym rozwiązaniem jest materac ewakuacyjny. Na wybór odpowiedniego sprzętu

ewakuacyjnego będzie miała również wpływ ilość dostępnych osób, które mogą pomóc w transferze na sprzęt ewakuacyjny.

- I. W ramach testów korzystano z krzesła ewakuacyjnego łatwego w użyciu, na stałych czterech kołach (mod. FALCON 2.0), które charakteryzuje się dużą stabilnością nawet gdy operator nie trzyma krzesła ewakuacyjnego za uchwyt główny, co w istotny sposób wpływało na szybkość i efektywność tego procesu. Konstrukcja krzesła ewakuacyjnego na stałych czterech kołach (Rysunek 28) pozwala na transfer osoby ewakuowanej na krzesło ewakuacyjne przez jednego ratownika choć stwarza to ryzyko dla jego zdrowia, w szczególności ryzyko przeciążenia odcinka lędźwiowego kręgosłupa.



Rysunek 28. Krzesło ewakuacyjne Falcon 2.0 (źródło: EnSafe.One, („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

W przypadku bardzo popularnych krzeseł ewakuacyjnych na dwóch stałych kołach (Rysunek 29, typ „2-wheeled” (Hedman *i in.*, 2021)) transfer osoby z wózka na krzesło ewakuacyjne bez jej pomocy jest praktycznie niemożliwy i skrajnie niebezpieczny, ponieważ tego typu krzesło ewakuacyjne ma małą stabilność i bez jego zabezpieczenia, trzymania za uchwyt główny przez operatora przechyli się do przodu i przewróci. W takim przypadku do używania krzesła ewakuacyjnego potrzebne są co najmniej dwie osoby, a w celu wykonania ergonomicznego, bezpiecznego transferu z wózka, z posadzki na krzesło ewakuacyjne aż trzy osoby.



Rysunek 29. Krzesło ewakuacyjne na dwóch stałych kołach (typ „2-Wheeled” (prod. Evac+Chair, model 600H, źródło: (EVAC+CHAIR, 2025)).

- J. Testy przeprowadzone w warunkach rzeczywistych potwierdzają, że zarówno krzesła ewakuacyjne jak i materace ewakuacyjne są skutecznym narzędziem do ewakuacji wspomaganej. O ich funkcjonalności ewakuacyjnej jednak decyduje m. in. sytuacja do jakiej może dojść w budynku a której nie da się przewidzieć. Przeprowadzone testy potwierdziły, że są sprzętem uzupełniającym się a nie zastępującym się i powinny stanowić wyposażenie budynku tak jak to wskazano w normie PN-EN 17210:2021 m. in. na każdym piętrze budynku, przy każdej klatce schodowej powinno znajdować się krzesło ewakuacyjne i materac ewakuacyjny.
- K. Biorąc pod uwagę wyniki czasów ewakuacji uzyskane w ramach testów 4 i 5 można stwierdzić, że na pionowej drodze ewakuacyjnej, gdy nie jest ona zajęta przez inne osoby (jest pusta), można ewakuować szybciej osobę na materacu ewakuacyjnym. Porównując te dwa testy aż o 40 sekund względem krzesła ewakuacyjnego na dystansie 10 kondygnacji (ewakuacja z 11 kondygnacji) co jest odpowiedzią na ósme pomocnicze pytanie badawcze (PPB8). Należy jednak odnieść się w tym przypadku do zajętości krzesła ewakuacyjnego i materaca ewakuacyjnego na drodze ewakuacyjnej. Zajętość wzdłużna materaca ewakuacyjnego jest dwukrotnie większa niż krzesła ewakuacyjnego. Może to mieć wpływ na wydłużenie się czasu ewakuacji wszystkich osób z budynku, gdy taka ewakuacja będzie prowadzona równolegle z ewakuacją wspomaganą sprzętem ewakuacyjnym. Odpowiedź na to pytanie można

uzyskać w ramach symulacji jaka została przeprowadzona w ramach drugiej części badań tj. symulacji komputerowej ewakuacji w programie Pathfinder.

- L. Biorąc pod uwagę wnioski zawarte w punktach H - K można wskazać, że zmiennych wpływających na zarządzanie procesem ewakuacji oraz funkcjonalność ewakuacyjną sprzętu ewakuacyjnego jest więcej i ich wzajemny wpływ, oddziaływanie może zostać w pewnym zakresie przebadane w ramach symulacji zachowań ludzi podczas ewakuacji w programie komputerem typu Pathfinder. Wnioski z symulacji umożliwiają uzyskanie odpowiedzi na szereg pytań zawartych w tym rozdziale m. in. czy można wskazać jeden rekomendowany rodzaj sprzętu ewakuacyjnego oraz czy z uwagi na czynniki jakościowe jest nim krzesło ewakuacyjne. Istotne z punktu widzenia badań jest odniesienie nowych czynników jakościowych jakie zostały zdefiniowane w ramach kilkuletniej pracy na tą rozprawą doktorską dla krzeseł ewakuacyjnych do innego rodzaju sprzętu ewakuacyjnego jakim jest materac ewakuacyjny, aby móc spojrzeć na nie bardziej obiektywnie i dokładniej sprecyzować ich znaczenie dla użytkownika.

3.2.2.3 Symulacje komputerowe

3.2.2.3.1 Założenia do symulacji komputerowych

Realizacja wszystkich planowanych testów w warunkach rzeczywistych nie była możliwa z uwagi na ich charakter tj. ilość osób zaangażowanych w przeprowadzenie ewakuacji. W związku z tym w drugim etapie badań wykonano dla określonych scenariuszy analizy z wykorzystaniem programu Pathfinder. Jest to zaawansowany system do symulacji zachowań ludzi podczas ewakuacji, przeznaczony do modelowania złożonych scenariuszy ewakuacji. Program umożliwia modelowanie środowisk ewakuacyjnych z wykorzystaniem siatki nawigacyjnej i reprezentację ruchu osób w sposób realistyczny. Wyniki przedstawiane są postaci animacji w 3D, co umożliwia uzyskanie szybkich i wiarygodnych dzięki użyciu sztucznej inteligencji oprogramowania.

Symulację przeprowadzono na modelu, który miał takie same parametry techniczne jak budynek i klatka schodowa, w której przeprowadzono testy w warunkach rzeczywistych. Przyjęto również takie parametry techniczne np. w zakresie prędkości przemieszczenia się i zajętości drogi ewakuacyjnej oraz klatki schodowej, które były

zbliżone do warunków rzeczywistych. Nie było jednak możliwe przyjęcie takich samych wartości, parametrów z uwagi na ograniczenia programu, m. in. program nie miał w swojej bibliotece, bazie danych krzeseł ewakuacyjnych i materacy ewakuacyjnych przez co nie posiadał zwalidowanych danych w przypadku użycia takiego sprzętu. Ponadto program bazuje na określonym modelu, algorytmie, który nie odzwierciedla faktycznego przebiegu użycia krzeseł ewakuacyjnych i materacy ewakuacyjnych jak miało to miejsce w warunkach rzeczywistych. Wskazane ograniczenia są znane autorowi badań i akceptowane w ramach prowadzonych eksperymentów. Program pozwala jednak przeprowadzić symulacje, które dostarczyły istotnych danych porównawczych jakich nie można byłoby osiągnąć w tak krótkim czasie z ograniczonymi zasobami ludzkimi.

Podstawowym założeniem co do każdego z symulowanych scenariuszy było określenie czasu t_{ewak} szczegółowo opisanego w pierwszej części badań. Czas ten w przypadku symulacji uwzględniał czas (1) niezbędny na zabranie krzesła ewakuacyjnego / materaca ewakuacyjnego, (2) jego rozłożenia, (3) transferu na sprzęt ewakuacyjny, (4) ewakuacji po poziomej drodze ewakuacyjnej na danej kondygnacji na długości 20 m, (5) ewakuacji w pionie z 11 lub z 6 kondygnacji budynku w dół klatką schodową, (6) wyjścia na zewnątrz obiektu przez hol po poziomej drodze ewakuacyjnej o długości 20 m, (7) transferu z krzesła ewakuacyjnego lub z materaca ewakuacyjnego na inny wózek lub na nosze. Czas jaki jest niezbędny na przeprowadzenie tych procesów i jakie w związku z tym opóźnienie należy przyjąć został wskazany w każdym ze scenariuszy.

W ramach modelowania przyjęto dla czasów (1), (2), (3) oraz (7) wartości identyczne jakie otrzymano w ramach pierwszej części przeprowadzonych badań. Nie było możliwe wiarygodne zasymulowanie ww. czasów w programie, dlatego aby przyjąć jak najbardziej prawdopodobne wyniki przyjęto odpowiednie czasy jak wskazano. Czasy te uwzględniono w symulacji jako opóźnienie jej rozpoczęcia oraz opóźnienie jej zakończenia przyjmując warunki takie jakie odzwierciedlają realne testy. Takie podejście pozwoliło na minimalną ingerencję w sam proces ewakuacji jaki realizowany był w ramach symulacji w programie i osiągnięcie w opinii autora możliwe wiarygodnych danych porównawczych.

Nie ulega jednak wątpliwości, że fakt, iż w programie nie są zwalidowane modele ewakuacji z użyciem krzeseł ewakuacyjnych i materacy ewakuacyjnych ma wpływ na wyniki symulacji i nie pozwala przyjąć warunków maksymalnie zbliżonych do realnych. Potwierdza to, że prowadzenie tego typu badań, testów, symulacji jak w przedmiotowej rozprawie jest niezbędne, aby docelowo dostarczyć wystarczające ilości danych porównawczych do zbudowania odpowiednich modeli jakie będą mogły zostać wykorzystane w programach typu Pathfinder.

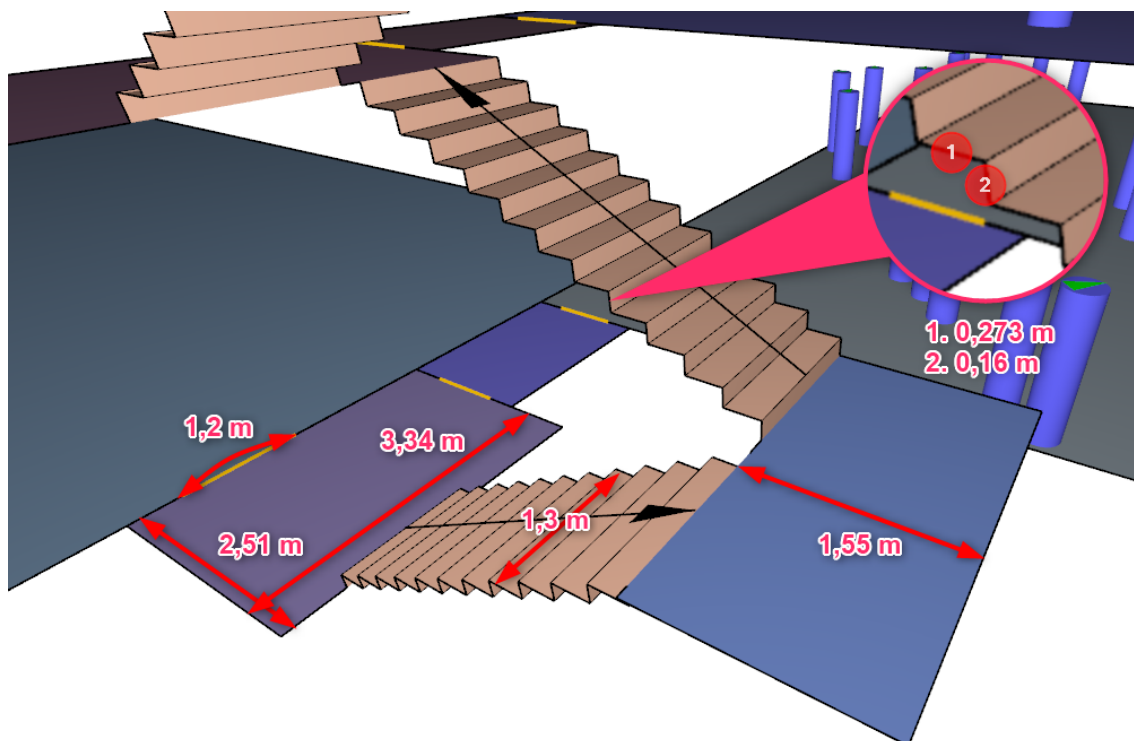
Opis danych użytych w badanym modelu

W modelu, który został stworzony w celu weryfikacji wpływu krzesła ewakuacyjnego na czterech stałych kołach (EnSafe.One FALCON 2.0) i materaca ewakuacyjnego (EnSafe.One PRIME) na czas ewakuacji budynku, przyjęto następujące dane:

- a. Dystans społeczny – parametr odpowiada za preferowaną odległość od innych osób podczas poruszania się w tłumie; przyjęto dystans odpowiedni dla budynków biurowych; użytkownicy nie poruszają się w ścisiku jak podczas paniki; dla krzeseł ewakuacyjnych i materacy ewakuacyjnych przyjęto proporcjonalny wskaźnik,
 - dla ludzi przyjęto: 0,5 m,
 - dla krzesła ewakuacyjnego: 1 m,
 - dla materaca ewakuacyjnego: 1,5 m.
- b. Czas przyspieszenia – czas po jakim człowiek lub urządzenie ewakuacyjne osiągną swoją maksymalną prędkość,
 - dla ludzi przyjęto: 1,1 s,
 - dla krzesła ewakuacyjnego: 3,0 s,
 - dla materaca ewakuacyjnego: 3,5 s.
- c. Czas utrzymywania decyzji – czas przez jaki osoba w symulacji utrzymuje swoją decyzję dotyczącą ruchu, zanim ją zmieni,
 - dla ludzi przyjęto: 1 s,
 - dla krzesła ewakuacyjnego: 2,0 s,

- dla materaca ewakuacyjnego: 2,5 s.
- d. Współczynnik spowolnienia – współczynnik redukujący prędkość ruchu w określonych warunkach np. przechodzenia przez wąskie przejścia,
 - dla ludzi przyjęto: 1,0,
 - dla krzesła ewakuacyjnego: 1,5,
 - Dla materaca ewakuacyjnego: 2,0.

Na wycinku z modelu (Rysunek 30) przedstawiono parametry klatki schodowej wykorzystywanej zarówno w pierwszej jak i drugiej części badań.



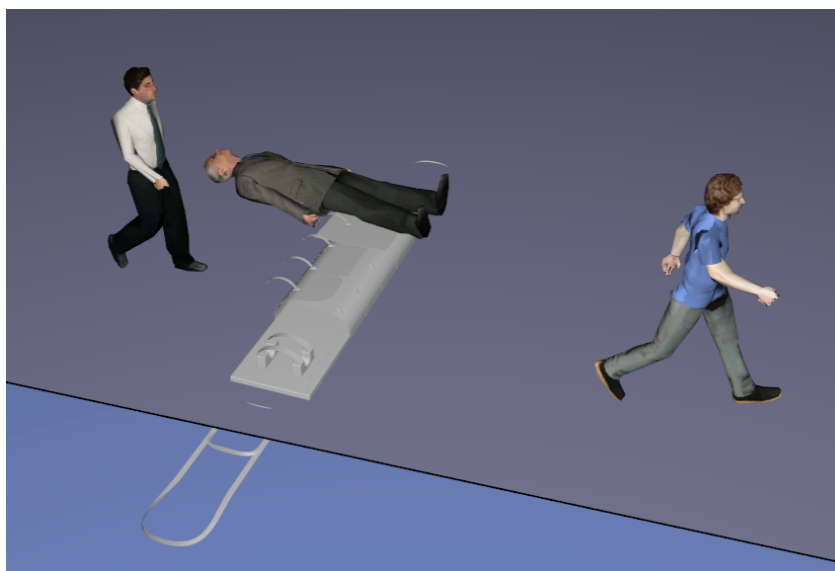
Rysunek 30. Model 3D przedstawiający klatkę schodową użytą do testów rzeczywistych i symulacji komputerowych (źródło: opracowanie własne).

W symulacji zastosowano realne wymiary obiektów, krzeseł ewakuacyjnych i materacy ewakuacyjnych wraz z operatorem lub z operatorami.



Rysunek 31. Krzesło ewakuacyjne EnSafe.One Falcon 2.0 – model użyty w symulacji (źródło: opracowanie własne).

Materac ewakuacyjny z jednym operatorem pokazano na Rysunku 32.



Rysunek 32. Materac ewakuacyjny (EnSafe.One PRIME) z jednym operatorem – model użyty w symulacji (źródło: opracowanie własne).

Na potrzeby przeprowadzenia symulacji w programie Pathfinder zdefiniowano scenariusze:

- scenariusz 1a – ewakuacja osoby nie mogącej samodzielnie się ewakuować przy użyciu krzesła ewakuacyjnego bez prowadzenia w tym samym czasie ewakuacji innych osób z budynku; do przeprowadzenia ewakuacji został zaangażowany jeden operator oraz uwzględniono jedną osobę pomagającą przy transferze; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s; przyjęto

uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; scenariusz ten analizowany był w celu walidacji i porównania czasu jaki został osiągnięty w ramach eksperymentu w warunkach rzeczywistych do czasów uzyskanych w symulacji,

- scenariusz 1b – ewakuacja osoby nie mogącej samodzielnie się ewakuować przy użyciu materaca ewakuacyjnego EnSafe.One PRIME bez prowadzenia w tym samym czasie ewakuacji innych osób z budynku; do przeprowadzenia ewakuacji zostało zaangażowanych dwóch operatorów; uwaga: gdy do używania sprzętu ewakuacyjnego przewiduje się dwóch operatorów nie jest konieczne uwzględnienia dodatkowej osoby do transferu – dwóch operatorów zrealizuje to zadanie samodzielnie (dotyczy sprzętu ewakuacyjnego jaki został użyty w czasie badań); przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; scenariusz ten analizowany był w celu walidacji i porównania czasu jaki został osiągnięty w ramach eksperymentu w warunkach rzeczywistych względem symulacji,
- scenariusz 1c – ewakuacja osoby nie mogącej samodzielnie się ewakuować przy użyciu materaca ewakuacyjnego EnSafe.One PRIME bez prowadzenia w tym samym czasie ewakuacji innych osób z budynku; do przeprowadzenia ewakuacji został zaangażowany jeden operator oraz uwzględniono jedną osobę pomagającą przy transferze. Różnica względem scenariusza 1b polega na tym, że zajętość materaca ewakuacyjnego w czasie przemieszczania się po poziomej i pionowej drodze ewakuacyjnej z jednym ratownikiem jest mniejsza niż z dwoma ratownikami; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; scenariusz ten analizowany był w celu walidacji i porównania czasu jaki został osiągnięty w ramach eksperymentu w warunkach rzeczywistych względem symulacji,
- scenariusz 2a – ewakuacja wszystkich osób z budynku z założeniem, że poruszają się samodzielnie, o własnych siłach; w scenariuszu tym nie jest prowadzona ewakuacja wspomagana tzn. przy użyciu krzesła ewakuacyjnego lub materaca ewakuacyjnego; ewakuacja 550 osób z 11 kondygnacji budynku, jedną klatką schodową (50 osób na każdej kondygnacji); w scenariuszu tym nie występują czynności ujęte w ramach czasu (1), (2), (3) oraz (4); symulacja prowadzona była

w celu określenia, ile czasu zajmuje ewakuacja wszystkich osób z budynku; stanowiła istotny punkt odniesienia w celu określenia „czy” a jeśli tak to w jaki sposób może oddziaływać na czas ewakuacji osób z budynku, wprowadzenie na klatkę schodową procesu ewakuacji wspomaganej przy użyciu krzesła ewakuacyjnego lub materaca ewakuacyjnego,

- scenariusz 2b – ewakuacja wszystkich osób z budynku z jednoczesną ewakuacją wspomaganą z 11 kondygnacji przy użyciu jednego krzesła ewakuacyjnego (EnSafe.One FALCON 2.0), używanego przez jednego operatora oraz uwzględniono jedną osobę pomagającą przy transferze. Przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; symulacja prowadzona była w celu określenia potencjalnego wpływu ewakuacji wspomaganej przy użyciu krzesła ewakuacyjnego na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku,
- scenariusz 2c.1 – ewakuacja wszystkich osób z budynku z jednoczesną ewakuacją wspomaganą z 11 kondygnacji przy użyciu jednego materaca ewakuacyjnego EnSafe.One PRIME, używanego przez jednego operatora (mniejsza zajętość na drodze ewakuacyjnej względem użycia przez dwóch operatorów) oraz uwzględniono jedną osobę pomagającą przy transferze; symulacja prowadzona była w celu określenia potencjalnego wpływu ewakuacji wspomaganej przy użyciu materaca ewakuacyjnego na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku; wyodrębniono dwa niezależne scenariusze w przypadku użycia materaca ewakuacyjnego tzn. użycie przez jednego operatora lub przez dwóch operatorów; wynika to z faktu, że niektórzy producenci materacy ewakuacyjnych jak (Escape Mobility; Tetcon) rekomendują używanie materaca ewakuacyjnego przez dwóch operatorów; w takim przypadku jednak zajętość miejsca na drodze ewakuacyjnej jest większa niż gdy materac ewakuacyjny używa jedna osoba; jak potwierdziły eksperymenty przeprowadzone w pierwszej części badań możliwe jest w sposób bezpieczny dla osoby ewakuowanej używanie materaca ewakuacyjnego przez jednego operatora, który znajduje się przed matercem ewakuacyjnym; mając to na uwadze założono wykonanie symulacji z jednym operatorem materaca ewakuacyjnego w celu sprawdzenia „czy” i ewentualnie

„jaki” będzie to miało wpływ na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku w odniesieniu do sytuacji, gdy materac ewakuacyjny używany jest przez dwóch operatorów jak w kolejnym scenariuszu 2c.2; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s,

- scenariusz 2c.2 – ewakuacja wszystkich osób z budynku z jednoczesną ewakuacją wspomaganą z 11 kondygnacji przy użyciu jednego materaca ewakuacyjnego (EnSafe.One PRIME), używanego przez dwóch operatorów (większa zajętość miejsca, powierzchni na drodze ewakuacyjnej względem użycia przez jednego operatora); przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; symulacja prowadzona była w celu poznania wpływu na czas ewakuacji wszystkich ludzi z budynku, zastosowania materaca ewakuacyjnego używanego przez dwóch operatorów a nie przez jednego jak w scenariuszu 2c.1,
- scenariusz 2d – scenariusz jak 2b z tą różnicą, że ewakuacja wspomagana krzesłem ewakuacyjnym prowadzona jest z 6 kondygnacji; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; symulacja prowadzona w celu określenia czy zmiana kondygnacji z jakiej prowadzona jest ewakuacja wspomagana przy użyciu krzesła ewakuacyjnego z 11 kondygnacji (najwyższej w budynku) na 6 będzie miała wpływ na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku,
- scenariusz 2e.1 – scenariusz jak 2c.1 z tą różnicą, że ewakuacja wspomagana matercem ewakuacyjnym prowadzona jest z 6 kondygnacji; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; symulacja prowadzona w celu określenia czy zmiana kondygnacji z jakiej prowadzona jest ewakuacja wspomagana przy użyciu materaca ewakuacyjnego z 11 kondygnacji (najwyższej w budynku) na 6 będzie miała wpływ na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku,
- scenariusz 2e.2 – scenariusz jak 2c.2 z tą różnicą, że ewakuacja wspomagana matercem ewakuacyjnym prowadzona jest z 6 kondygnacji; przyjęto

uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; symulacja prowadzona w celu określenia czy zmiana kondygnacji z jakiej prowadzona jest ewakuacja wspomagana przy użyciu materaca ewakuacyjnego z 11 kondygnacji (najwyższej w budynku) na 6 będzie miała wpływ na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku,

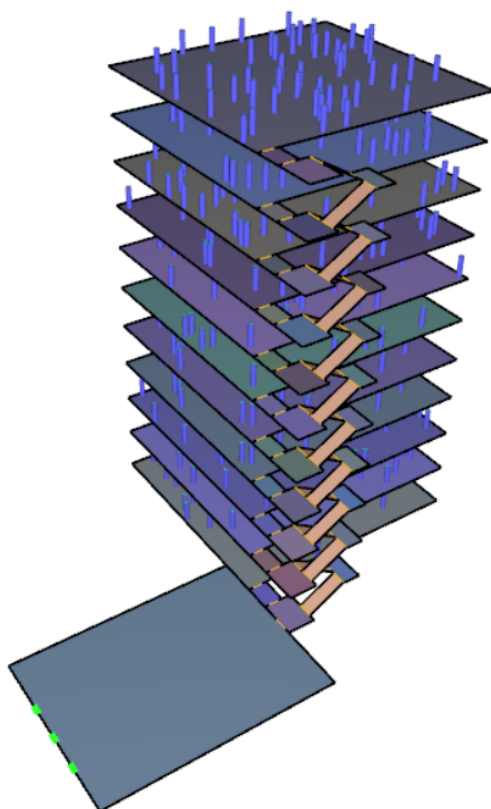
- scenariusz 2f – ewakuacja wszystkich osób z budynku z jednoczesną ewakuacją wspomaganą z 11 i 6 kondygnacji budynku przy użyciu dwóch krzeseł ewakuacyjnych EnSafe.One FALCON 2.0, każde używane przez jednego operatora oraz uwzględniono jedną osobę pomagającą przy transferze; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; symulacja prowadzona w celu określenia jaki wpływ na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku będzie miała ewakuacja wspomagana prowadzona przy użyciu dwóch krzeseł ewakuacyjnych z 11 i z 6 kondygnacji budynku,
- scenariusz 2g.1 – ewakuacja wszystkich osób z budynku z jednoczesną ewakuacją wspomaganą z 11 i 6 kondygnacji budynku przy użyciu dwóch materacy ewakuacyjnych EnSafe.One PRIME, każdy używany przez jednego operatora oraz uwzględniono jedną osobę pomagającą przy transferze; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; symulacja prowadzona w celu określenia jaki wpływ na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku będzie miała ewakuacja wspomagana prowadzona przy użyciu dwóch materacy ewakuacyjnych używanych przez jednego operatora z 11 i z 6 kondygnacji budynku,
- scenariusz 2g.2 – ewakuacja wszystkich osób z budynku z jednoczesną ewakuacją wspomaganą z 11 i 6 kondygnacji budynku przy użyciu dwóch materacy ewakuacyjnych EnSafe.One PRIME, każdy używany przez dwóch operatorów; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s. Przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; symulacja prowadzona w celu określenia jaki wpływ na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku będzie miała ewakuacja wspomagana prowadzona przy użyciu dwóch materacy

ewakuacyjnych EnSafe.One PRIME używanych przez dwóch operatorów z 11 i 6 kondygnacji budynku względem scenariusza 2g.1,

- scenariusz 2h.1 – ewakuacja wszystkich osób z budynku z jednoczesną ewakuacją wspomaganą z 11 i 6 kondygnacji budynku przy użyciu różnych rodzajów sprzętów ewakuacyjnych – jednego krzesła ewakuacyjnego EnSafe.One FALCON 2.0 z 11 kondygnacji oraz materaca ewakuacyjnego EnSafe.One PRIME z 6 kondygnacji budynku; zarówno krzesło ewakuacyjne jak i materac ewakuacyjny używane przez jednego operatora; uwzględniono jedną osobę pomagającą przy transferze; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; symulacja prowadzona w celu określenia jaki wpływ na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku będzie miała ewakuacja wspomaganą prowadzona przy użyciu dwóch różnych sprzętów ewakuacyjnych jak krzesło ewakuacyjne EnSafe.One FALCON 2.0 oraz materac ewakuacyjny EnSafe.One PRIME,
- scenariusz 2h.2 – scenariusz jak 2h.1 z taką różnicą, że materac ewakuacyjny EnSafe.One PRIME użytkowany jest przez dwóch operatorów; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; symulacja prowadzona w celu określenia jaki wpływ na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku będzie miała zwiększona liczba operatorów materaca ewakuacyjnego do dwóch,
- scenariusz 2i.1 – scenariusz jak 2h.1 z taką zmianą, że do ewakuacji z 11 kondygnacji użyto materaca ewakuacyjnego a z 6 kondygnacji krzesła ewakuacyjnego; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3): 30 s; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; symulacja prowadzona w celu określenia jaki wpływ na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku będzie miała zmiana użytego do ewakuacji sprzętu ewakuacyjnego – porównanie względem scenariusza 2h.1,
- scenariusz 2i.2 – scenariusz jak 2h.2 z taką zmianą, że do ewakuacji z 11 kondygnacji użyto materaca ewakuacyjnego a z 6 kondygnacji krzesła ewakuacyjnego; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasów (1), (2), (3):

30 s; przyjęto uśredniony czas opóźnienia dla czasu (4): 10 s; symulacja prowadzona w celu określenia jaki wpływ na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku będzie miała zmiana użytego do ewakuacji sprzętu ewakuacyjnego – porównanie względem scenariusza 2h.2.

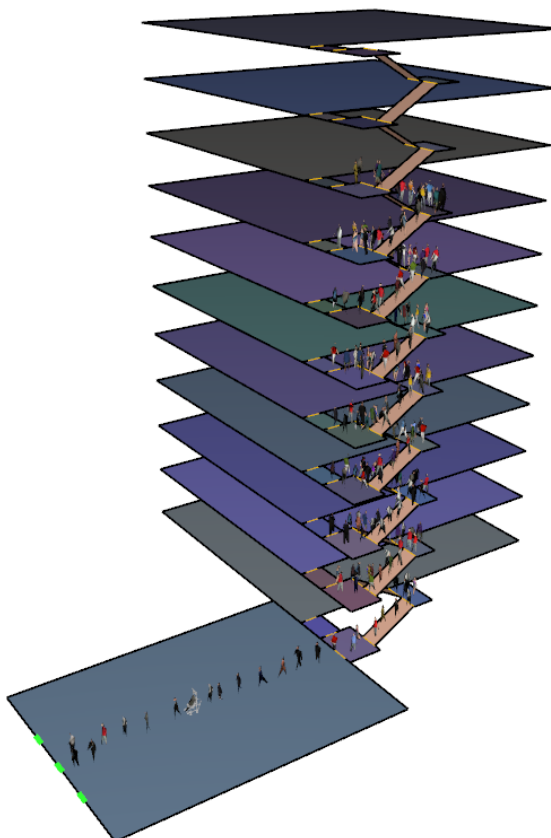
W celu zobrazowania jak wyglądał model w programie do symulacji i jak ona przebiegała (załącznik nr 1) zamieszczono kilka poglądowych obrazów (Rysunek 33, 34 i 35).



Rysunek 33. Model 3D obiektu przyjętego do symulacji (źródło: opracowanie własne).



Rysunek 34. Przykładowe obrazy pokazujące przebieg ewakuacji z wykorzystaniem krzesła ewakuacyjnego EnSafe.One Falcon 2.0 (źródło: opracowanie własne).



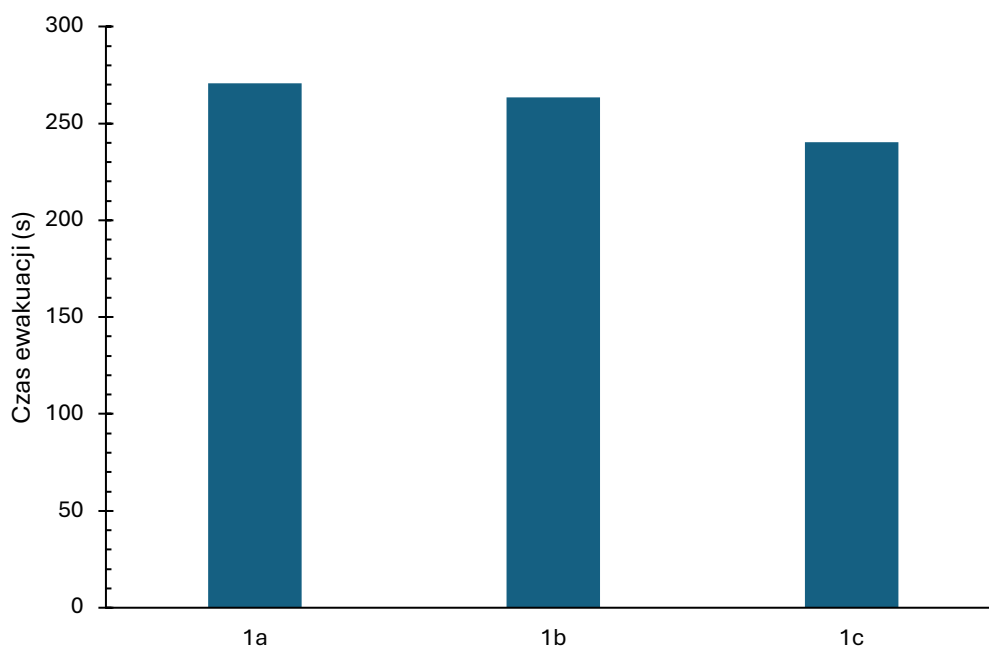
Rysunek 35. Przykładowe obrazy pokazujące przebieg ewakuacji z wykorzystaniem materaca ewakuacyjnego EnSafe.One PRIME (źródło: opracowanie własne).

3.2.2.3.2 Wyniki symulacji komputerowych

Po wykonaniu wszystkich symulacji ich wyniki zebrano w Tabeli 6 w celu łatwego porównania. Jednocześnie na wykresie (Rysunek 36) porównano wyniki dla pierwszych trzech scenariuszy, które były prowadzone dla ewakuacji wspomaganej bez jednoczesnej ewakuacji innych osób z budynku a na wykresie (Rysunek 37) zestawiono wyniki dla pozostałych scenariuszy uwzględniających ewakuację wszystkich osób z budynku.

Tabela 6. Wyniki symulacji przeprowadzonej w programie Pathfinder (źródło: opracowanie własne).

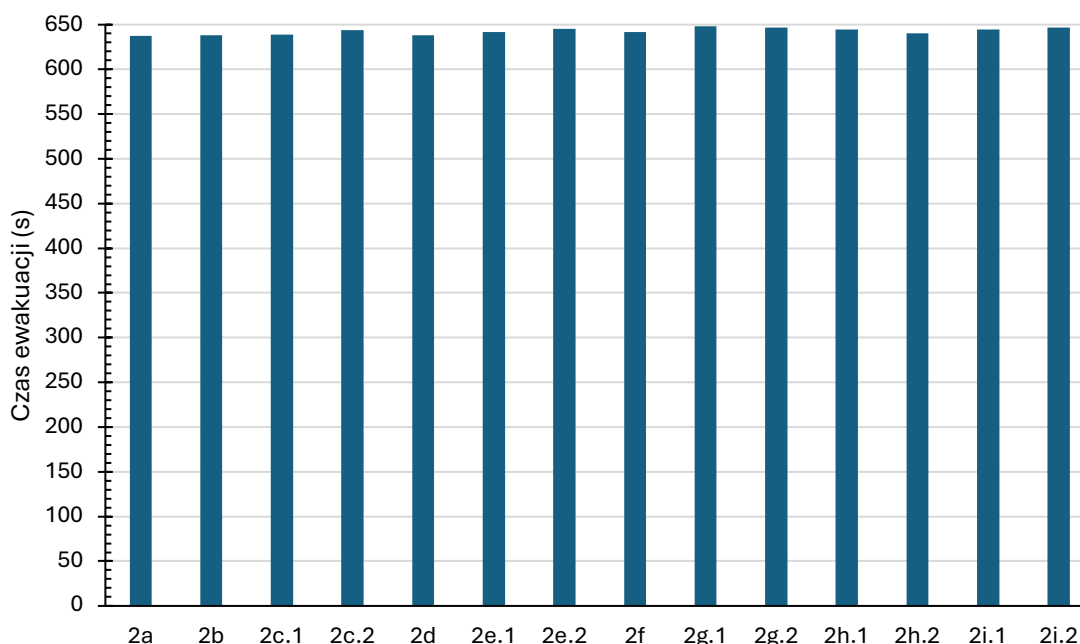
	1a	1b	1c	2a	2b	2c.1	2c.2	2d	2e.1	2e.2	2f	2g.1	2g.2	2h.1	2h.2	2i.1	2i.2
Całkowity czas ewakuacji	270,8	263,5	240,3	637,3	638	638,8	643,8	638,5	641,8	645,3	642	648,5	647	644,5	640	644,3	647
Krzesło ewakuacyjne EnSafe.One FALCON 2.0	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	2	-	-	+ (11)	+ (11)	+ (6)	+ (6)
Materac ewakuacyjny EnSafe.One PRIME Dwóch operatorów	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	2	-	+ (6)	-	+ (11)
Materac ewakuacyjny EnSafe.One PRIME Jeden operator	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	2	-	+ (6)	-	+ (11)	-
Kondygnacja	11	11	11	-	11	11	11	6	6	6	11; 6	11; 6	11; 6	11; 6	11; 6	11; 6	11; 6
Ludzie ewakuujący się ze wszystkich kondygnacji budynku	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+



Rysunek 36. Czasy ewakuacji wspomaganej z 11 kondygnacji obiektu (1a-1c – scenariusze ewakuacji) (źródło: opracowanie własne).

Wnioski z symulacji w odniesieniu do wykresu (Rysunek 36):

- A. Symulacje 1a-1c przeprowadzone w programie Pathfinder potwierdzają, że użycie materaca ewakuacyjnego na pionowej drodze ewakuacyjnej (klatce schodowej) ewakuując w dół (zjeżdżając matercem ewakuacyjnym po schodach) umożliwiające szybsze przeprowadzenie ewakuacji wspomaganej względem krzesła ewakuacyjnego o kilkadziesiąt sekund (w warunkach badania; w innym obiekcie ta wartość będzie inna w zależności m. in. od ilości kondygnacji budynku). W przypadku, gdy materac ewakuacyjny używany jest przez dwóch operatorów o ok 10 s, a gdy przez jednego operatora wówczas o 30 s. To stwierdzenie jest prawdziwe wówczas, gdy klatką schodową w tym samym czasie nie jest prowadzona ewakuacja innych osób z budynku (klatka schodowa jest pusta).
- B. Symulacje 1b-1c potwierdzają, że użycie materaca ewakuacyjnego przez jednego operatora zwiększa szybkość ewakuacji względem jego użycia przez dwóch operatorów. Wynika to głównie zajętości miejsca przez dwóch operatorów i ich techniki manewrowania matercem ewakuacyjnym w szczególności na spocznikach między kondygnacyjnych, gdzie jest mało miejsca na tego typu manewry.



Rysunek 37. Czasy ewakuacji niewspomaganej z całego budynku i wspomaganej z 11 i 6 kondygnacji obiektu (2a-2i.2 – scenariusze ewakuacji) (źródło: opracowanie własne).

Wnioski wynikające z wykresu (Rysunek 37):

- A. Czas ewakuacji osiągnięty w scenariuszu 2a (ewakuacja ludzi bez ewakuacji wspomaganej krzesłem ewakuacyjnym lub matercem ewakuacyjnym) ze scenariuszami 2b, 2c.1 i 2c.2 (ewakuacja ludzi z jednoczesną ewakuacją osoby na krześle ewakuacyjnym lub materacu ewakuacyjnym) pozwala stwierdzić, że ewakuacja wspomagana nie spowoduje istotnego opóźnienia procesu ewakuacji, co jest odpowiedzią na dziewiąte pomocnicze pytanie badawcze (PPB9). Różnica między czasami ewakuacji waha się od ok 1 do 5 sekund co nie jest istotną zmianą biorąc pod uwagę, że ewakuowało się 550 osób z 11 kondygnacji budynku a całkowity czas ewakuacji jest w przedziale 600 – 650 sekund. Wynik ten jest pewnym zaskoczeniem. Spodziewano się większego wpływu na czas ewakuacji po wprowadzeniu krzesła ewakuacyjnego lub materaca ewakuacyjnego na klatkę schodową.
- B. Wyniki czasów ewakuacji uzyskane dla scenariuszy 2b, 2c.1 i 2c.2 wskazują, że krzesło ewakuacyjne ma najmniej negatywny wpływ na czas ewakuacji (powoduje jej najmniejsze opóźnienie) a największy materac ewakuacyjny z dwoma operatorami. To jest odpowiedzią na dziesiąte pomocnicze pytanie badawcze (PPB10) i wnioski z symulacji pozwalają stwierdzić, że rodzaj użytego sprzętu ewakuacyjnego w warunkach badaniach i przy ściśle określonych danych wejściowych nie miał

istotnego wpływu na szybkość ewakuacji ludzi z całego budynku. Wyniki te wskazują również, że w sytuacji, gdy klatką schodową porusza się tłum innych osób, materac ewakuacyjny traci swoją przewagę polegającą na prędkości ewakuacji z uwagi na swoją wielkość a co za tym idzie zajętość powierzchni na klatce schodowej. Zmiana ta jest bardzo znacząca porównując czasy ewakuacji osiągnięte w scenariuszu 1b i 1c w porównaniu do 1a.

- C. Wyniki czasów ewakuacji uzyskane w scenariuszu 2b i 2d wskazują, że to z jakiej kondygnacji budynku zostanie rozpoczęta ewakuacja wspomagana nie ma istotnego wpływu na całkowity czas ewakuacji co jest odpowiedzią na jedenaste pomocnicze pytanie badawcze (PPB11). Zaskakujące są wyniki czasu ewakuacji dla scenariusza 2f pokazujące, że wprowadzenie nawet dwóch krzeseł ewakuacyjnych na klatkę schodową nie spowoduje istotnego wydłużenia czasu ewakuacji.
- D. Symulacje przeprowadzone dla scenariuszy 2f, 2g1, 2g.2, 2h.1, 2h.2, 2i.1, 2i.2 wskazują, że nie ma istotnego znaczenia na całkowity czas ewakuacji, na której kondygnacji zostanie użyte krzesło ewakuacyjne czy materac ewakuacyjny.
- E. Przeprowadzone testy pozwalają stwierdzić, że zarówno krzesło ewakuacyjne jak i materac ewakuacyjny równie dobrze sprawdzą się podczas ewakuacji w dół klatką schodową w tłumie. Krytyczne i istotne znaczenie ma transfer na dany sprzęt ewakuacyjny i jego skuteczne oraz szybkie przeprowadzenie, czyli suma czasów (1), (2) i (3). Wpływ ma na nie głównie ilość osób zaangażowana do transferu osoby na sprzęt ewakuacyjny, stan psychofizyczny osoby ewakuowanej i operatorów oraz dostępny sprzęt pomocniczy np. noszak transferowy.
- F. Na funkcjonalność ewakuacji danego sprzętu ewakuacyjnego wpływa również jego zajętość wzdłużna na klatce schodowej. Kwalifikując ten wskaźnik jako jeden z tych, które mają istotny wpływ na przebieg ewakuacji wspomaganej można przyjąć w trakcie oceny danego sprzętu, że krzesła ewakuacyjnej będą w tym przypadku otrzymywać do całkowitej oceny 1 pkt. a materace ewakuacyjne 0 pkt. – należy to uwzględnić w odniesieniu do wniosków z pierwszej części badań i wskazanych tam maksymalnych ilości punktów jakie może uzyskać krzesło ewakuacyjne i materac ewakuacyjny, na korzyść krzeseł ewakuacyjnych dodatkowo 1 pkt.

3.2.2.4 Wnioski końcowe z badań rzeczywistych i symulacji

- A. Rekomendować zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 17210:2021 stosowanie zarówno krzesła ewakuacyjnego jak i materaca ewakuacyjnego na każdej kondygnacji budynku, przy każdej klatce schodowej z uwagi na brak wiedzy kogo i w jakim stanie psychofizycznym będzie należało ewakuować. Czas transferu osoby ewakuowanej na sprzęt ewakuacyjny ma bardzo istotny wpływ na całkowity czas ewakuacji. Jest to również istotne z punktu widzenia zarządcy obiektu w zakresie planowania rozmieszczenia i kosztów wdrożenia sprzętu ewakuacyjnego.
- B. Wyposażyć miejsce, gdzie zlokalizowano krzesło ewakuacyjne, materac ewakuacyjny w noszak transferowy, który w istotny sposób może przyspieszyć transfer z wózka, posadzki na sprzęt ewakuacyjny z jednoczesnym zadbaniem o bezpieczeństwo dla operatorów jak i komfort, poczucie godności dla osoby ewakuowanej (nie będzie ona dotykana przez operatorów). Norma PN-EN 1865-4 zwraca również uwagę na kwestię bezpieczeństwa ratowników.
- C. Zalecać używanie materaca ewakuacyjnego przez jednego operatora, chyba że producent tego urządzenia jednoznacznie wymaga użycia przez dwie osoby.
- D. Przeprowadzone testy i symulacje wskazują, że nie jest możliwe stwierdzenie który z tych rodzajów sprzętów ewakuacyjnych powinien być powszechniej stosowany jako sprzęt pierwszego wyboru. Krzesła ewakuacyjne i materace ewakuacyjne nie są urządzeniami zastępującymi się a uzupełniającymi. Każde z nich ma swoje zalety i ograniczenia a budynki powinny być wyposażane w każdy zgodnie z PN-EN 17210:2021. Decyzja o wyborze optymalnego rozwiązania w danej sytuacji powinna być podejmowana podczas procesu ewakuacji w zależności od występujących uwarunkowań.
- E. Nowy czynnik jakościowy „funkcjonalność ewakuacyjna” pozwala na odpowiednie i lepsze przygotowanie się do skutecznego zarządzania procesem ewakuacji oraz ewakuacji wspomaganiej poprzez możliwość doboru odpowiedniego sprzętu.

- F. Przeprowadzona analiza umożliwiła zebranie danych, które umożliwiają odpowiedzieć na pierwsze pytanie badawcze rozprawy doktorskiej tj.:

W jaki sposób rozmieszczenie i zastosowanie różnych typów urządzeń wspomagających ewakuację wpływa na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku, w tym osób z niepełnosprawnościami?

- krzesło ewakuacyjne i materac ewakuacyjny na każdej kondygnacji budynku, przy każdej klatce schodowej skraca ewakuację osoby ze szczególnymi potrzebami 3 - 4 krotnie w zależności od sytuacji, zdarzenia,
- wyposażenie obiektu w sprzęt pomocniczy np. noszak do transferu osoby „na” i „ze” sprzętu ewakuacyjnego, wózka w celu przetransportowania jej „przed” i „po” ewakuacji, co skraca ten proces od 1 do kilku minut.

- G. Przeprowadzone badania umożliwiły również zdefiniowanie istotnych wskaźników mających wpływ na czynnik jakościowych „Funkcjonalność ewakuacyjna” przy wykorzystaniu, którego można lepiej zarządzać ewakuacją wspomaganą. Jego zastosowanie umożliwia lepsze przygotowanie się do przeprowadzenia ewakuacji wspomaganej i zostało zdefiniowane we wnioskach do pierwszej części badań.

3.2.3 Badanie wybranych czynników jakościowych (nieinwazyjność środowiskowa, maksymalny zasięg zjazdu, trwałość eksploatacyjna)

3.2.3.1 Cele badań wybranych czynników jakościowych

Przy ocenie czynników jakościowych należy zwrócić uwagę na następujące aspekty: nieinwazyjność środowiskową, maksymalny zasięg zjazdu oraz trwałość eksploatacyjną. Wdrożenie ewakuacji wspomaganej w budynku użyteczności publicznej wiąże się z koniecznością poniesienia kosztów ze strony zarządcy obiektu. Jedną z podstawowych informacji jaka jest niezbędna do skutecznego zarządzania procesem ewakuacji jest to jaki zasięg ma dane krzesło ewakuacyjne, kiedy zajdzie potrzeba wymiany poszczególnych podzespołów, jaki jest okres jego eksploatacji i jakie będą tego koszty. Równie istotne jest czy zakupione krzesła ewakuacyjne nie spowodują uszkodzenia istniejących schodów, ich okładzin i czy będą odpowiednie do danego rodzaju środowiska pracy. Obecnie brak jest danych, które jednoznacznie mogą udzielić

odpowiedzi na powyższe pytania. W związku z powyższym przeprowadzono szczegółową analizę i badanie mające na celu określić jaki jest zasięg krzeseł ewakuacyjnych na dwóch stałych kołach, jakie są koszty ich eksploatacji i w jaki sposób mogą oddziaływać na środowisko pracy.

Krzesła ewakuacyjne na dwóch stałych kołach stosowane są od co najmniej 1982 roku („Evacuation chair”, 1985). Stały się popularnym rozwiązaniem do ewakuacji po schodach, głównie ze względu na ich dostępność, to, że są najbardziej rozpoznawalne jako jedno z pierwszych oraz niższą cenę w porównaniu do modeli na stałych czterech kołach. Wyposażone w gąsienicowy układ bieżny oparty o pas gumowy, umożliwiają kontrolowany zjazd po schodach lub innych pochyłościach (Zajac, Sydor i Mrugańska, 2023). Po rozłożeniu, dzięki dużym przednim kołom i rozkładanym tylnym kołom, mogą poruszać się po płaskich powierzchniach. Przed zjazdem po schodach z osobą ewakuowaną, krzesła ewakuacyjne na dwóch stałych kołach pochylane są do przodu, a tylna rama z kołami składana. Następnie, za pomocą gąsienicowego układu bieżnego, krzesła ewakuacyjne przemieszczają się w dół. Teoretycznie krzesła ewakuacyjne mogą być używane wielokrotnie podczas jednej ewakuacji z budynku o ile ich stan techniczny to umożliwia.

Krzesła ewakuacyjne z systemem gąsienicowym znacząco redukują wysiłek operatorów podczas transportu osób po schodach, w porównaniu do urządzeń wymagających bezpośredniego przenoszenia (Kwee-Meier *i in.*, 2016). Efektywność działania krzeseł ewakuacyjnych zależy jednak od szerokości schodów, liczby zakrętów i dostępnej przestrzeni (Migas, Sydor i Butlewski, 2024). Przykładowo, lepiej sprawdzają się w szerszych klatkach schodowych bez ostrych zakrętów (Sano, Omiya i Hagiwara, 2004). Kluczowymi miernikami jakości są prędkość zjazdu, czas przygotowania urządzenia oraz łatwość użycia (Zajac i Sydor, 2024). Dotychczasowe badania analizowały łatwość użytkowania (Migas, Butlewski i Sydor, 2023), całkowity czas ewakuacji (Szulc, Cisek i Król, 2022) oraz wpływ ewakuacji na ruch innych osób w tej samej klatce schodowej (Sano, Omiya i Hagiwara, 2004).

Krzesła ewakuacyjne są wyrobami medycznymi klasy I wielorazowego użytku, wykorzystywanymi zarówno podczas ćwiczeń, jak i rzeczywistych ewakuacji. Mogą być używane do treningu operatorów. Oczekuje się więc od nich zdolności do

bezawaryjnego przejeżdżania znacznych odległości podczas całego okresu ich zdolności do użytkowania.

Głównym elementem gąsienicowego układu bieżnego krzeseł ewakuacyjnych jest pas gumowy otaczający koła napinające oraz płożę hamującą ze stopu aluminium. Tarcie na styku pasa gumowego i płózy hamującej spowalnia ruch krzesła ewakuacyjnego z ewakuowaną osobą. O prędkości ruchu decyduje m. in. rodzaj pasa, konstrukcja płózy, masa osoby ewakuowanej oraz naciąg pasa gumowego. Energia potencjalna podczas zjazdu zamieniana jest wskutek tarcia na ciepło, co powoduje nagrzewanie się układu jezdny i może negatywnie wpływać na pas jezdny.

Badania naukowe nad krzesełami ewakuacyjnymi podkreślają znaczenie ergonomii, szkolenia operatorów, innowacyjnych technologii i optymalnego projektowania przestrzeni ewakuacyjnych. Wciąż istnieje potrzeba dalszych badań nad ich efektywnością w różnorodnych sytuacjach. Każdy potencjalny operator powinien odbyć szkolenie z efektywnego użycia. Intensywne użytkowanie może prowadzić do nadmiernego zużycia mechanizmów i potencjalnej niesprawności. Mimo to, brakuje naukowych badań określających maksymalny dystans bezpiecznego transportu. Dostępne dane, oparte na doświadczeniach użytkowników, sugerują, że typowo zasięg krzeseł ewakuacyjnych nie przekracza 100 kondygnacji, a po przejechaniu tej drogi układ jezdny krzesła ewakuacyjnego ulega nadmiernemu zużyciu. Niestety, brak jest wiarygodnych badań, artykułów naukowych czy innych źródeł potwierdzających tę informację.

W celu określenia inwazyjności środowiskowej, maksymalnego zasięgu zjazdu i trwałości eksploatacyjnej krzeseł ewakuacyjnych z uwagi na efektywne zarządzanie procesem ewakuacji poddano badaniu trzy modele krzeseł ewakuacyjnych na dwóch stałych kołach. W ramach testu zaplanowano m. in. sprawdzenie jaka jest maksymalna liczba kondygnacji, które może pokonać dane krzesło ewakuacyjne. W związku z tym przeprowadzono systematyczne badania w skali rzeczywistej, zapewniając powtarzalność warunków i dokładność pomiarów.

3.2.3.2 Metodyka badań wybranych czynników jakościowych

Do badań wybrano trzy krzesła ewakuacyjne na dwóch stałych kołach znanych firm mających certyfikat potwierdzający wdrożenie systemu jakości według normy technicznej ISO 9001 (2016) oraz normy ISO 13485 (2016) dla wyrobów medycznych. Takie podejście pozwalało na porównanie produktów o podobnej jakości, produkowanych w Europie (zgodnie z deklaracją producentów na ich stronach internetowych i w udostępnionej dokumentacji). Badane krzesła ewakuacyjne pokazano na Rysunku 38.



Rysunek 38. Testowane krzesła ewakuacyjne na dwóch stałych kołach: A (Escape Mobility), B (Evac Chair 600H), C (EnSafe.One Robin 2.0) (źródło: opracowanie własne).

Oznaczenia w badaniach, nazwy modeli i inne informacje zamieszczono w Tabeli 7.

Tabela 7. Specyfikacja badanych krzeseł ewakuacyjnych (źródło: opracowanie własne).

Krzesło ewakuacyjne	Model	Data produkcji	Numer seryjny	Gwarancja	Producent	Dystrybutor w Polsce
A	Escape-Carry Chair CF	Czerwiec 2023	CC-CF/UK/1/F W2305/Jun -23/53	6 lat	Escape Mobility Ltd. (London, UK)	Fundacja Polska Bez Barrier
B	Evac Chair 600H	Marzec 2022	J06/220300 011	5 lat	Evac Chair (Lake Success, NY, USA)	Fumaro s.c.
C	EnSafe.One ROBIN 2.0	Październik 2024	000057	7 lat	EnSafe.One (Zabierzów, Poland)	EnSafe Sp. z o. o.

Podstawowe parametry techniczne badanych krzeseł zebrano w Tabeli 8.

Tabela 8. Główne parametry techniczne badanych krzeseł ewakuacyjnych źródło: (źródło: opracowanie własne).

Krzeseło ewakuacyjne	Wymiary złożonego krzesła (szerokość × wysokość × głębokość)	Wymiary rozłożonego krzesła (szerokość × wysokość × głębokość)	Masa krzesła ewakuacyjnego
A	576 × 1 190 × 210 mm	575 × 1 480 × 1 070 mm	18.1 kg
B	595 × 1 000 × 255 mm	595 × 1 350 × 800 mm	13.2 kg
C	590 × 1 210 × 320 mm	590 × 1 530 × 1 080 mm	14.8 kg

Wszystkie badane krzesła ewakuacyjne wyposażone były w gąsienicowy układ bieżny oparty na pasie gumowym. Główne parametry tego układu przedstawiono w Tabeli 9.

Tabela 9. Główne parametry układów jezdnych (płóz i pasów) (źródło: opracowanie własne).

Krzeseło ewakuacyjne	Płóza (szerokość × wysokość × długość)	Wymiary pasa jezdnego (szerokość × wysokość × długość)	Masa pasa	Twardość pasa	Typ pasa
A	25 × 48 × 720 mm	12.2 × 6.7 × 1 450 mm	130 g	68 ShA	Pas gumowy
B	25 × 40 × 715 mm	10 × 6.05 × 1 455 mm	110 g	80 ShA	Pas gumowy / frezowany / talkowany
C	29 × 30 × 686 mm	13 × 8.5 × 1 550 mm	215 g	86 ShA	Pas gumowy

Do badań użyto manekina o masie 80 kg pokazanego na Rysunku 39.



Rysunek 39. Manekin o masie 80 kg użyty do badań trwałości pasów jezdnych i układu jezdnego (źródło: opracowanie własne).

Podczas badań trwałości pasów jezdnych monitorowano temperaturę powierzchni płóz jezdnych badanych krzeseł ewakuacyjnych. Pomiary przeprowadzono za pomocą trzech czujników, które automatycznie, bezprzewodowo, przesyłały dane do komputera. Czujniki rozmieszczono na lewej i prawej płozie jezdnej oraz obok krzesła ewakuacyjnego, aby monitorować temperaturę otoczenia. Lokalizację czujników przedstawiono na Rysunku 40.



Rysunek 40. Metoda pomiaru temperatury płóz jezdnych testowanych krzeseł ewakuacyjnych (źródło: opracowanie własne).

W czasie badań obserwowano również zużywanie się pasów i pozostałych podzespołów krzesła ewakuacyjnego, wpływ układu jezdnego na schody i ich okładziny (w szczególności te przed każdym ze spoczników, gdzie zastosowano narożniki antypoślizgowe w budynku, w którym były prowadzone testy).

Do badań użyto następującego zestawu urządzeń:

- A. Bezprzewodowy rejestrator temperatury z trzema czujnikami o zakresie pomiarowym od -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$ i dokładności pomiaru $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (mod. RT3 LAN, prod. Termipol, Lubliniec, Polska).
- B. Twardościomierz Shore A, zakres pomiaru 100 HA, dokł. odczytu 1,0 HA (model HBA 100-0, prod. Sauter GmbH, Wutöschingen – Degernau, Niemcy).
- C. Długościomierz do pasów napędowych, zakres pomiarowy 500-2.500 mm, dokładność ± 5 mm (mod. Art. 8863, prod. BGS Technic KG, BGS Technic, Niemcy).
- D. Suwmiarka cyfrowa, zakres pomiarowy 0-200 mm, dokładność $\pm 0,01$ mm (mod. Filetta, prod. Schut Geometrische Meettechniek bv, Groningen, Holandia).
- E. Waga hakowa wisząca do ważenia krzeseł ewakuacyjnych, zakres pomiarowy 2 – 300 kg, dokładność 100 g, (model: CEKO+, producent: TUM Elektronik Muhendislik San. Tic. Ltd., Istanbul; Turcja).
- F. Aparat fotograficzny 24,2 Mpix. Rozdzielczość filmów: 4096×2160 . Rozdzielczość zdjęć: 6000×4000 (mod. Alpha A7 III, prod. Sony corp., Tokio, Japonia).

Badania polegały na zjeździe obciążonym krzesłem ewakuacyjnym do momentu awarii pasów jezdnych. W celu oszacowania przewidywanej liczby kondygnacji, jakie krzesło ewakuacyjne może pokonać w ciągu 5 lat eksploatacji, przyjęto następujące założenia:

- A. Liczba operatorów krzeseł ewakuacyjnych szkolonych w obiekcie to 5 osób (z danych zawartych w materiałach producentów znajduje się informacja, że zazwyczaj takie grupy osób są szkolone).
- B. Każdy operator podczas szkolenia przejedzie z osobą ewakuowaną lub z manekinem 10 kondygnacji w dół po schodach.

- C. Producenci zalecają, aby szkolenie z użycia krzesła ewakuacyjnego powtarzać co rok. Najkrótszy okres gwarancji krzesła ewakuacyjnego to 5 lat (*EVAC+CHAIR 600H*, 2024) zatem przyjęto, że to minimalny okres eksploatacji krzesła ewakuacyjnego. W ciągu 5 lat krzesło ewakuacyjne może przejechać 250 kondygnacji podczas szkoleń (5 osób x 10 kondygnacji każdego roku tj. 50 kondygnacji co daje w ciągu 5 lat łącznie 250 kondygnacji).
- D. Dodatkowo przyjęto, że w ciągu 5 lat eksploatacji krzesło ewakuacyjne przejedzie w trakcie co rocznych przeglądów technicznych i czynności konserwacyjnych dystans 50 kondygnacji (10 kondygnacji każdego roku).

Założenia te wskazują, że przewidywane typowe użycie każdego krzesła ewakuacyjnego w okresie 5 lat jego użytkowania wynosi do 300 kondygnacji. Oczywiście w każdym obiekcie może to być realizowane w inny sposób i ta wartość może się znacząco różnić. Niemniej jednak na potrzeby przeprowadzenia testów po wykonanej analizie przyjęto dystans 300 kondygnacji jako reprezentatywny.

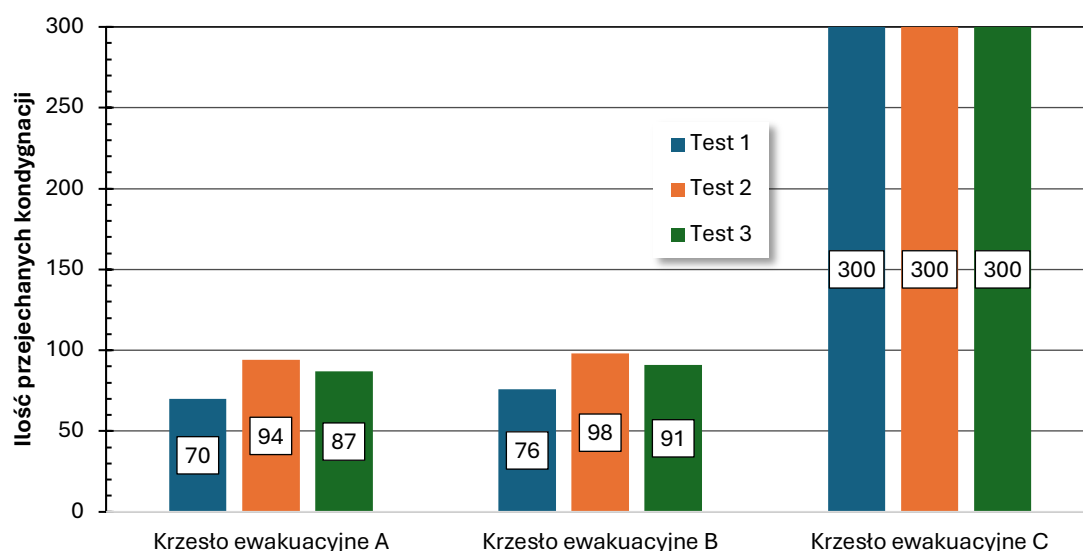
W ramach badań, każde z trzech krzeseł ewakuacyjnych zostało poddane trzem niezależnym testom. Symulacja zjazdu na długim dystansie została osiągnięta w taki sposób, że cykl zjazdu był realizowany w budynku 11-kondygnacyjnym w następujący sposób: zjazd w dół przez 10 kondygnacji, wyjazd windą na 11 kondygnację i powtórzenie zjazdu do uzyskania 300 kondygnacji. Krzesło ewakuacyjne zostało obciążone manekinem o wadze 80-kilogramów. Test należało przerwać wówczas, gdy pasy jezdne były na tyle uszkodzone, że dalszy zjazd był niemożliwy lub wystąpiło inne uszkodzenie układu jezdnego, krzesła ewakuacyjnego lub schodów, które uniemożliwiały dalszy zjazd w sposób bezpieczny. Dla każdego niezależnego testu zastosowano nowe, oryginalne pasy jezdne, zakupione od producenta/dystrybutora. Takie podejście gwarantowało, że uzyskane wyniki nie będą obciążone wpływem wadliwych elementów i zapewniło odpowiednią wiarygodność wyników badań.

Testy zostały przeprowadzone przez dwóch mężczyzn, jednego o wzroście 177 cm i masie ciała 77 kg oraz drugiego o wzroście 175 cm i masie ciała 82 kg. Aby zapewnić takie same warunki testowe dla wszystkich krzeseł ewakuacyjnych, testy przeprowadzono bez obecności osób postronnych (osób schodzących lub wchodzących

po schodach w tym samym czasie), co potencjalnie wydłużałoby czas ewakuacji i wpływało na uzyskane wyniki. Podczas testów monitorowano temperaturę płóz jezdnych oraz otoczenia. Po zakończeniu testów wykonano zdjęcia krzesła ewakuacyjnego, zwracając szczególną uwagę na stan pasów jezdnych i układu jezdnego. Ponownie zmierzono długość, grubość i szerokość pasów. Pas został rozcięty w celu zbadania jego wewnętrznej struktury. Podzespoły krzesła ewakuacyjnego zostały sprawdzone na okoliczności wyboczeń i widocznych uszkodzeń.

3.2.3.3 Wyniki badań

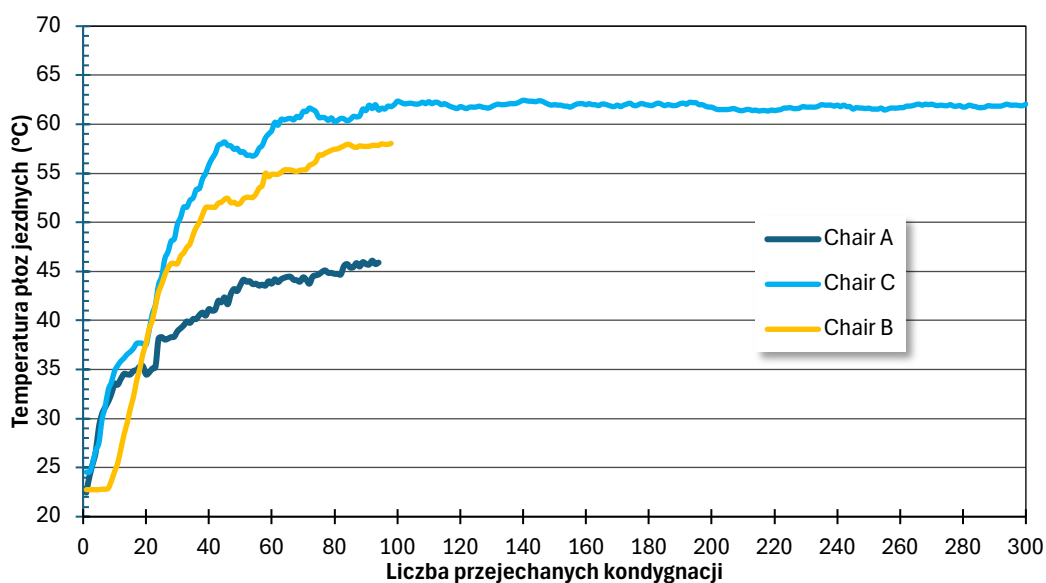
W wyniku przeprowadzonych badań określono liczbę kondygnacji, które każde z testowanych krzeseł ewakuacyjnych pokonało przed wystąpieniem awarii w każdej z trzech prób. Uzyskane wyniki przedstawiono na Rysunku 41.



Rysunek 41. Liczba przejechanych kondygnacji przez testowane krzesła ewakuacyjne (źródło: opracowanie własne).

Jak wynika z przedstawionych danych, krzesło ewakuacyjne A uległo awarii po pokonaniu od 70 do 94 kondygnacji, krzesło B po przejechaniu od 76 do 98 kondygnacji, natomiast krzesło C umożliwiło przejechanie 300 kondygnacji w każdej z trzech przeprowadzonych prób bez wystąpienia zużycia pasów jezdnych uniemożliwiających dalsze używanie krzesła ewakuacyjnego oraz widocznych innych uszkodzeń, które uniemożliwiłyby bezpieczny zjazd.

Oprócz oceny wytrzymałości pasów, układu jezdni, krzesła ewakuacyjnego oraz schodów, badano również zmiany temperatury płóz krzeseł ewakuacyjnych podczas przeprowadzania testu. Na wykresie pokazanym na Rysunku 42 przedstawiono przykładowy profil temperaturowy dla drugiego testu. Na Rysunku 42 przedstawiono uśrednione dla obu płóz zmiany temperatury. Celem badania było stwierdzenie czy występuje bezpośrednia korelacja między temperaturą płóz a uszkodzeniem, zużyciem pasów.



Rysunek 42. Zmierzone temperatury płóz pasów jezdnych w badanych krzesłach ewakuacyjnych (źródło: opracowanie własne).

Z pokazanego na Rysunku 42 wykresu można odczytać, że temperatura płóz jezdnych wzrastała na dystansie około 80 kondygnacji do wartości w zakresie 46 - 62°C, a następnie utrzymywała się stała wartość do zużycia pasów uniemożliwiająca dalszą jazdę lub do przerwania testu (przejechania 300 kondygnacji).

Podczas przeprowadzania testów obserwowano proces zużywania się pasów oraz stwierdzano rodzaj awarii wyłączającej krzesło ewakuacyjne z dalszej jazdy. W Tabeli 10 podsumowano wyniki obserwacji przeprowadzonych w ramach wszystkich dziewięciu testów.

Tabela 10. Podsumowanie testów krzeseł ewakuacyjnych (źródło: opracowanie własne).

Krzeseło ewakuacyjne	Obserwacja	Wymiary pasa (szer. × wys. × dł.)
A – Escape Mobility	Test 1: Przy 70 kondygnacji pas lewy zużyty całkowicie. Dalsza jazda powoduje ocieranie płozy o krawędź schodów.	Test 1: Przed: 12.2×6.7×1450 mm Po lewy pas: 12,2×4,15×1460 mm Po prawy pas: 12,2×4,3×1460 mm
	Test 2: Przy 94 kondygnacji pasy zużyte. Dalsza jazda powoduje ocieranie płoz o krawędź schodów.	Test 2: Przed: 12.2×6.7×1450 mm Po: 12,2×4,15×1465 mm
	Test 3: Przy 87 kondygnacji pasy zużyte całkowicie. Dalsza jazda powoduje ocieranie płoz o krawędź schodów.	Test 3: Przed: 12.2×6,7×1450 mm Po: 12,2×4,2×1460 mm
B – Evac+Chair	Test 1: 76 kondygnacja – uszkodzenie pasa jezdnego lewego, tarcie płóz o schody, niemożliwa dalsza jazda.	Test 1: Przed: 10×6,05×1455 mm Po lewy pas: 10×4,5×1460 mm Po prawy pas: 10 × 5,4 × 1460 mm
	Test 2: 98 kondygnacja uszkodzenie pasów, tarcie płóz o schody, niemożliwa dalsza jazda.	Test 2: Przed: 10×6,05×1455 mm Po: 10×4,5×1460 mm
	Test 3: 91 kondygnacja uszkodzenie pasów, tarcie płóz o schody, niemożliwa dalsza jazda.	Test 3: Przed: 10×6.05×1455 mm, po: 10×-4,55 × 1460 mm
C – EnSafe.One	Test 1: Pasy jezdne sprawne i nadają się do dalszego użytkowania po zakończeniu testów. Zaobserwowane niewielkie zużycie nie wskazuje na bezpośrednie zagrożenie bezpieczeństwa.	Test 1: Przed: 13×8,50×1550 mm Po 13×8,20×1555 mm
	Test 2: Pasy jezdne sprawne i nadają się do dalszego użytkowania po zakończeniu testów. Zaobserwowane niewielkie zużycie nie wskazuje na bezpośrednie zagrożenie bezpieczeństwa.	Przed: 13×8,50×1550 mm Po 13×8,30×1555 mm
	Test 3: Pasy jezdne sprawne i nadają się do dalszego użytkowania po zakończeniu testów. Zaobserwowane niewielkie zużycie nie wskazuje na bezpośrednie zagrożenie bezpieczeństwa.	Przed: 13×8,50×1550 mm Po 13×8,15×1555 mm

Jak przedstawiono w Tabeli 10, krzesła ewakuacyjne A i B wykazały znaczące zużycie pasów jezdnych po stosunkowo niewielkiej liczbie przejechanych kondygnacji. Całkowite zużycie pasów uniemożliwiło dalszą jazdę i stanowiło zagrożenie dla bezpieczeństwa użytkownika. Krzesło ewakuacyjne C charakteryzowało się znacznie większą wytrzymałością - po 300 przejechanych kondygnacjach nie stwierdzono istotnych uszkodzeń pasów, które mogłyby wyłączyć krzesło ewakuacyjne C z dalszej eksploatacji lub negatywnie wpłynąć na bezpieczeństwo jego użytkowania.

Nowy pas w krześle ewakuacyjnym A przed wykonaniem eksperymentu przedstawia Rysunek 43.



Rysunek 43. Pas jezdny krzesła A przed wykonaniem testu (źródło: opracowanie własne).

Pas ten jest frezowany i na zdjęciu wygląda tak jakby miał już ślady użycia, ale faktycznie w takim stanie dostarczany jest przez producenta jako nowy. Pas ten w krześle ewakuacyjnym A po przejechaniu 94 kondygnacji, czyli do wystąpienia awarii uniemożliwiającej dalszą jazdę, pokazuje Rysunek 44. Widoczne jest na nim znaczne zużycie pasa przejawiające się postrzępieniem jego krawędzi oraz wykruszeniem się mieszanki gumy pomiędzy krawędziami.



Rysunek 44. Pas jezdny krzesła ewakuacyjnego A po wykonaniu testu i zjazdu przez 94 kondygnacje (źródło: opracowanie własne).

Nowy pas jezdny w krześle ewakuacyjnym B przed wykonaniem eksperymentu przedstawia Rysunek 45.



Rysunek 45. Pas jezdny krzesła ewakuacyjnego B przed wykonaniem testu (źródło: opracowanie własne).

Pas jezdny w krześle ewakuacyjnym B po przejechaniu 98 kondygnacji, czyli do wystąpienia awarii, przedstawia Rysunek 46. Widoczne jest znaczne postrzępienie pasa.



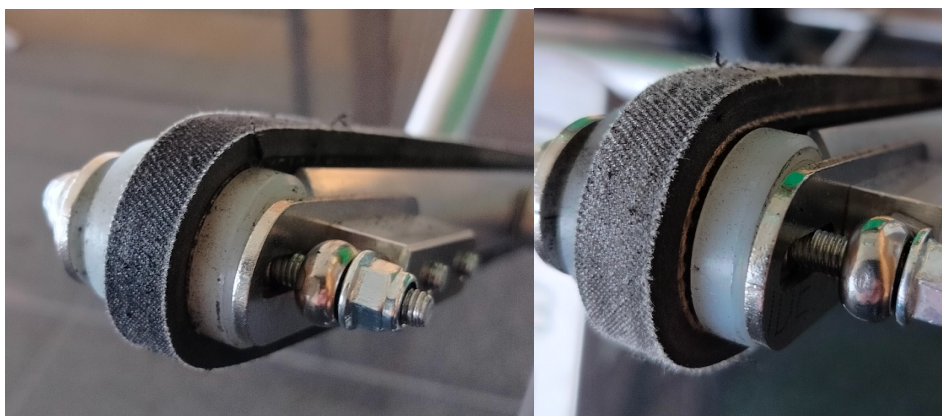
Rysunek 46. Pas jezdny krzesła ewakuacyjnego B po wykonaniu testu (źródło: opracowanie własne).

Nowy pas jezdny w krześle ewakuacyjnym C przed wykonaniem testu przedstawia Rysunek 47.



Rysunek 47. Pas jezdny krzesła ewakuacyjnego C przed wykonaniem testu (źródło: opracowanie własne).

Pas jezdny w krześle ewakuacyjnym C po przejechaniu 300 kondygnacji pokazano na Rysunku 48. Widoczne są na nim ślady zużycia, jednak pas nadaje się do dalszego użytkowania.



Rysunek 48. Pas jezdny krzesła ewakuacyjnego C po wykonaniu eksperymentu (źródło: opracowanie własne).

3.2.3.4 Dyskusja wyników badań

Pasy jezdne w krzesłach ewakuacyjnych to kluczowy element konstrukcji, który umożliwia bezpieczne i efektywne przemieszczanie osób po schodach podczas ewakuacji. Pasy przystosowane są do schodów wykonanych z różnych materiałów. W literaturze podkreśla się, że ślizgowy układ jezdny zastosowany m. in. w krzesłach ewakuacyjnych znacząco zmniejsza obciążenie mięśni operatora podczas zjazdu. Wskazano także na większą stabilność i kontrolę prędkości w porównaniu z ręcznym przenoszeniem osób ewakuowanych, bez systemów jezdnych (Lavender *i in.*, 2014). Kwee-Meier et al. (2016) zbadali różne urządzenia ewakuacyjne, wskazując, że gąsienicowe systemy jezdne redukują wysiłek fizyczny operatorów nawet o 30% w porównaniu do urządzeń bez takich systemów (Kwee-Meier *i in.*, 2016).

Mechanizmy spowalniające zjazd, pozwalające operatorowi kontrolować prędkość, generują podwyższoną temperaturę, a tarcie o powierzchnie schodów zużywa, a nawet niszczy pasy i/lub schody, czy ich okładziny. Z przeprowadzonych testów wynika, że zużycie pasów jezdnych jest kluczowym czynnikiem wpływającym na bezpieczeństwo użytkowania krzeseł ewakuacyjnych oraz czynnikiem generującym koszty związane z jego eksploatacją (serwisem) i użytkowaniem. Zużyte pasy mogą prowadzić do utraty przyczepności, zwiększonego tarcia o krawędzie schodów i w konsekwencji do wypadków. Sfotografowano pasy jezdne przed eksperymentem oraz po jego wykonaniu, na Rysunku 49 przedstawiono pasy po eksperymencie.



Rysunek 49. Zużycie pasów jezdnych po testach: a - krzesło ewakuacyjne A (Escape Mobility) – po 94 kondygnacjach, b – Krzesło ewakuacyjne B (Evac+Chair) po 98 kondygnacjach, c – krzesło ewakuacyjne C (EnSafe.One) po 300 kondygnacjach (źródło: opracowanie własne).

Løvås (1998) podkreślił krytyczne znaczenie elementów systemu ewakuacji dla bezpieczeństwa budynku. Wykorzystując teorię niezawodności, w badaniu zidentyfikowano znaczenie zarządzania operacyjnego w zapewnieniu bezpiecznej ewakuacji. Wang et al. (2015) opracowali model niezawodności ewakuacji mieszkańców

w sytuacjach zagrożenia pożarowego. W badaniu podkreślono wpływ zmiennych losowych, takich jak czas do marginesu bezpieczeństwa, na ogólną niezawodność systemów ewakuacji. Zaskakującym rezultatem badań jest stosunkowo niewielki przebieg badanego krzesła ewakuacyjnego A (Escape Mobility) i B (Evac+Chair) do całkowitego zużycia układu jezdnego i utraty funkcji ewakuacyjnej. Krzesło ewakuacyjne A przejechało odpowiednio 70, 94 i 87 kondygnacji, a krzesło ewakuacyjne B: 76, 98 i 91 kondygnacji. W przeciwieństwie do nich, krzesło ewakuacyjne C (EnSafe.One) było zdolne do przejechania 300 kondygnacji w każdym z przeprowadzonych trzech testów. Tak małe przebiegi krzeseł ewakuacyjnych A i B do awarii, negatywnie wpływają na niezawodność całego systemu ewakuacyjnego.

Wyniki wykonanych badań wskazują, że krzesła ewakuacyjne A i B wymagają modyfikacji lub wymiany pasów jezdnych po stosunkowo niewielkiej liczbie użyc, co może generować dodatkowe koszty i utrudniać ich użytkowanie. Limitowany zasięg krzeseł ewakuacyjnych A i B stanowi nową wiedzę, która do tej pory nie była zawarta w żadnych opracowaniach naukowych czy materiałach udostępnianych przez producentów krzeseł ewakuacyjnych.

Szybkie niszczenie pasów w krześle ewakuacyjnym A i B przekładało się również na możliwość uszkodzenia mechanicznego schodów. Gdyby testy były prowadzone na schodach drewnianych lub schodach z wykładziną dywanową (rozwiązanie dopuszczalne na schodach ewakuacyjnych przy spełnieniu odpowiednich parametrów palności) wówczas zostałyby uszkodzone przez metalowe płozy, które miałyby z nimi bezpośredni kontakt z uwagi na zniszczenie pasa jezdnego. Taka sytuacja w krześle ewakuacyjnym A i B może wystąpić już po przejechaniu dystansu ok 60 kondygnacji.

Pasy jezdne krzesła ewakuacyjnego A z uwagi na poddanie obróbce frezowania (usunięcie warstwy zewnętrznej, jezdnej pasa przez producenta krzesła ewakuacyjnego lub jego dostawcę) wraz z wzrostem ich temperatury tj. już do kilkudziesięciu kondygnacji (25 - 30) zaczynały pozostawiać czarne ślady, mieszanka gumowa pasów wtapiała się w krawędź schodów. Ślady gumy z powierzchni są bardzo trudne do usunięcia (Zhu *i in.*, 2024). Ryzyko, że płozy krzeseł ewakuacyjnych lub pasy jezdne mogą uszkadzać schody w sposób wizualny, mechaniczny jest niedopuszczalne.

Krzesła ewakuacyjne używane są sporadycznie tzn. podczas ewakuacji, która nie jest sytuacją powszechną, codzienną w obiekcie podczas jego użytkowania. Stąd też w normalnych warunkach użytkowania krzesła ewakuacyjnego nie ma możliwości oceny badanego parametru (szybkość zużycia pasów jezdnych; uszkodzenie, zużycie podzespołów czy oddziaływanie na środowisko pracy). Z drugiej jednak strony, aby krzesło ewakuacyjne mogło być bezpiecznie używane jego potencjalni operatorzy powinni przejść odpowiednie szkolenie – co wskazuje każdy z producentów (Escape Chair, 2015; EVAC+CHAIR 600H, 2024; EnSafe.One ROBIN 2.0 Evacuation Chair, 2024). Zakładając, że szkolonych jest 5 operatorów i każdy z nich będzie prowadził próbną ewakuację przez 10 kondygnacji daje to łącznie 50 kondygnacji w ramach jednego szkolenia. Jeśli szkolenie zostanie przeprowadzone dla drugiej grupy osób o takiej samej liczbie wóczas krzesła ewakuacyjne A i B nie będą mogły sprostać temu wyzwaniu. Po takim szkoleniu krzesło ewakuacyjne A i B powinno automatycznie zostać poddane przeglądowi technicznemu i wymianie pasów jezdnych na nowe. Będzie to generowało dodatkowe koszty z uwagi na konieczność przeprowadzenia serwisu krzesła ewakuacyjnego przez specjalistę oraz koszt samych pasów, który może być wysoki (krzesło ewakuacyjne A – komplet pasów, 2 szt. to koszt 20 euro przy koszcie samego krzesła ewakuacyjnego 1 860 euro; krzesło ewakuacyjne B koszt kompletu pasów 90 euro przy koszcie samego krzesła ewakuacyjnego 860 euro; krzesło ewakuacyjne C koszt 2 szt. pasów to 20 euro przy koszcie samego krzesła ewakuacyjnego 980 euro). Jak widać na powyższym przykładzie użytkowanie krzesła ewakuacyjnego może wymagać częstego serwisu i generować wysokie koszty.

Skutkiem zużycia pasów jest również wspomniane brudzenie schodów a nawet możliwość ich uszkodzenia. Chociaż nie ma to istotnego znaczenia podczas rzeczywistej ewakuacji w czasie pożaru lub innego zagrożenia, to jednak takie brudzenie lub uszkodzenie schodów jest niepożądane podczas ćwiczeń. Nadmierne, szybkie zużycie pasów jezdnych w krześle ewakuacyjnym A i B oprócz brudzenia może powodować mechaniczne uszkodzenie schodów w szczególności wykonanych z drewna lub pokrytych drewnem czy wykładziną dywanową. W obiektach zabytkowych, muzeach czy hotelach jest to niedopuszczalne, gdyż mają one wartość historyczną (obiekty zabytkowe, muzea) lub estetyczną (hotele). Użycie krzesła ewakuacyjnego

w szczególności podczas treningu, szkolenia nie może powodować uszkodzenia tych elementów, ponieważ gdy zostanie to zauważone wówczas takie ćwiczenie zostaną zakazane przez co nie będzie możliwe przeszkolenie operatorów i prawidłowe użycie krzesła ewakuacyjnego.

Jednym z równie istotnych spostrzeżeń zaobserwowanych w czasie testów jest to, jaki wpływ na zużycie pasów jezdnych ma technika operowania krzesłem ewakuacyjnym podczas zjazdu. Zanim przystąpiono do testów każdy z operatorów przeszedł szkolenie z ich użycia zgodnie z instrukcjami używania krzeseł ewakuacyjnych (*ESCAPE-CHAIR*, 2015; *EVAC+CHAIR 600H*, 2024; *EnSafe.One ROBIN 2.0 evacuation chair*, 2024). Przekazano operatorom, aby zjeżdżali krzesłem ewakuacyjnym po linii prostej w dół. W trakcie testów zaobserwowano, że operatorzy pomimo szkolenia po przejechaniu kilkudziesięciu kondygnacji mają tendencję do skręcania krzesłem ewakuacyjnym w prawo lub lewo. Pasy w każdym krześle ewakuacyjnym nagrzewają się w nierównomiernym stopniu, to samo dotyczy ich zużycia i wydłużenia. Powoduje to, że każdy z pasów może poruszać się z inną prędkością (każdy z pasów może chwilowo się zablokować, co było obserwowane podczas testów). Efektem tego był zjazd krzesłem ewakuacyjnym w dół nie zawsze w linii prostej, równoległej do ściany, barierki. Taką zależność stwierdzono po pierwszym teście w szczególności w przypadku krzeseł ewakuacyjnych A i B, w których pasy szybko się zużyły. W teście 2 i 3 wprowadzono korektę tzn. przekazano osobą prowadzącym ewakuację (operatorom krzesła ewakuacyjnego), aby zjeżdżali w dół krzesłem ewakuacyjnym w linii prostej i starali się kontrolować prawidłową technikę zjazdu. Taka zmiana spowodowała, że w kolejnych testach krzesła ewakuacyjne A i B pokonały dodatkowych kilkanaście, kilkadziesiąt kondygnacji. Na bazie posiadanych doświadczeń autor rozprawy doktorskiej zakłada, że w sytuacji stresu operatorzy krzeseł ewakuacyjnych mogą nie być skupieni na tym, że krzesłem ewakuacyjnym powinni zjeżdżać po linii prostej.

W ramach testów stwierdzono, że każda przejechana kondygnacja to wzrost temperatury płoz a także pasów jezdnych. Jest to naturalne i spodziewane zjawisko, ponieważ występuję duże tarcie pomiędzy schodami, pasami jezdnyymi a płozami jezdnyymi. Po przejechaniu 70 kondygnacji temperatura może wynosić od około 45 do około 65°C (co pokazano na Rysunku 42). Wzrost temperatury powoduje wydłużanie się

pasa jezdnego, wykonanego z mieszanki gumowej, pomimo zastosowania kordu ograniczającego to zjawisko. Wydłużanie się pasa powoduje, że krzesło ewakuacyjne porusza się szybciej w dół i może to stanowić zagrożenia dla osoby ewakuowanej i operatora, dlatego tak ważne jest szkolenie operatorów, aby byli świadomi tego zjawiska. Pasy po przejechaniu kilkudziesięciu kondygnacji po wychłodzeniu nie wracają do pierwotnej długości, są nieznacznie dłuższe, ale jest to na tyle istotna zmiana, że zmienia to zachowanie się krzesła ewakuacyjnego na schodach podczas ewakuacji, zjeżdża szybciej. Krzesło ewakuacyjne A umożliwia montaż pasa w dwóch otworach montażowych co z założenia ma zapewnić jego odpowiedni naciąg. Rozwiązanie to uniemożliwia odpowiednie dopasowanie naciągu pasa jezdnego tak aby płynnie zjeżdżało po schodach (pas jest albo za bardzo napięty albo za mało). Krzesło ewakuacyjne B nie ma żadnego naciągu, krzesło ewakuacyjne działa prawidłowo, gdy ma założone nowe pasy jezdne, po przejechaniu 50 kondygnacji i naciągnięciu się pasa brak możliwości jego regulacji. Po każdej kolejnej przejechanej kondygnacji przyspiesza i nie da się tego zmienić. Krzesło ewakuacyjne C jako jedyne z badanych ma naciąg pasa jezdnego, który umożliwia płynną jego regulację.

Ciekawą obserwacją jest charakter wpływu temperatury na zużycie pasa. Pomimo, że w krześle ewakuacyjnym A temperatura była najniższa (ok. 45°C przy 70 kondygnacji) to pasy tego krzesła ewakuacyjnego przejechały najmniejszą liczbę kondygnacji. W krześle ewakuacyjnym B przy 70 kondygnacji było to ok 55°C a w krześle ewakuacyjnym C – ok. 61°C. Wyniki badań wskazują, że wpływ temperatury na zużywanie się pasów jezdnych jest jedynie jednym z wielu czynników. Konstrukcja pasa, jego grubość, twardość i odporność na ścieranie mają równie duże, jeśli nie większe znaczenie. Obserwacje z przeprowadzonych testów sugerują, że optymalizacja trwałości pasa jezdnego wymaga kompleksowego podejścia, uwzględniającego zarówno właściwości materiału, jak i warunki środowiska pracy.

Dla potwierdzenia tej tezy można wskazać, że w krześle ewakuacyjnym A zastosowano pasy jezdne, których zewnętrzna część (po której jedzie krzesło ewakuacyjne) została mechanicznie zmodyfikowana, frezowana. Zaletą frezowania jest to, że pasy łatwiej zginają się na rolce prowadzącej płozy, są bardziej miękkie. Niestety istotną wadą tego rozwiązania jest to, że pas szybciej się zużywa a rozgrzana mieszanka

gumowa wtapia się w schody pozostawiając trudne do usunięcia zabrudzenia. Bardzo prawdopodobne jest, że przeprowadzona obróbka pasa w krześle ewakuacyjnym A w bardzo istotny sposób wpływa na szybkość ich zużycia (jest to domniemanie na podstawie obserwacji podczas badań; celem badań nie jest szczegółowa analiza budowy, wytrzymałości pasa a jedynie fakt szybkości ich zużycia). Pasy te posiadają twardość 68 Sha i pomimo, że miały grubość większą od pasów krzesła ewakuacyjnego B (krzesło ewakuacyjne A 6,7 mm w porównaniu do 6,05 mm w krześle ewakuacyjnym B) zużyły się szybciej - pasy w krześle ewakuacyjnym B miały twardość 80 Sha. Najbardziej wytrzymałe okazały się pasy w krześle ewakuacyjnym C których grubość wynosiła 8,5 mm a twardość 86 Sha.

Krzesła ewakuacyjne to wyroby medyczne klasy I (*Regulation (EU) 2017/745 of the European Parliament and of the Council of 5 April 2017 on medical devices, 2017*). Dla tego typu wyrobu na etapie jego projektowania i wprowadzania do obrotu powinna być przeprowadzona analiza ryzyka zgodnie z odpowiednią normą techniczną (PN-EN ISO 14971) w celu prawidłowego zarządzania ryzykiem dla wyrobu medycznego. W ramach tej analizy ryzyka należy zidentyfikować scenariusze użycia wyrobu, które mają lub mogą mieć wpływ na bezpieczeństwo użytkownika produktu. Przeprowadzone testy wskazują, że występujący problem z wydłużaniem się, niszczeniem pasów w krześle ewakuacyjnym A i B nie został odpowiednio zdiagnozowany a jego skutki mogą mieć poważne konsekwencje prowadzące do incydentu medycznego.

3.2.3.5 Wnioski z badań

Badania krzeseł ewakuacyjnych na dwóch stałych kołach przyniosły następujące kluczowe wnioski:

- A. Największym ograniczeniem testowanych krzeseł ewakuacyjnych A i B była ich zdolność do pokonywania wielu kondygnacji - nie były w stanie przekroczyć nawet 100 kondygnacji, co wyklucza ich wielokrotne użycie podczas jednej akcji lub możliwość ich używania podczas szkoleń, ćwiczeń, a następnie traktowania jako pełnowartościowe.

- B. Szybkie zużywanie się pasów jezdnych, szczególnie w modelach A i B, było głównym czynnikiem wpływającym na ograniczenie zasięgu badanych krzeseł ewakuacyjnych. Rodzaj materiału, z którego wykonane były pasy miał decydujący wpływ na ich trwałość i odporność na zużycie. Pasy wykonane z mieszanki gumowej okazały się szczególnie podatne na uszkodzenia i wydłużanie się pod wpływem zwiększonej temperatury i tarcia. Konstrukcja płoż również wpływała na zużywanie się pasów i możliwość uszkodzenia schodów. Płozy wykonane z metalu mogły powodować zarysowania na drewnianych lub wykładzinowych powierzchniach schodów. Brak możliwości regulacji napięcia pasów w niektórych modelach (A i B) powodował ich nierównomierne zużywanie się i przyspieszał proces niszczenia.
- C. Szybkie zużywanie się pasów i wydłużanie ich pod wpływem temperatury mogło prowadzić do niekontrolowanego przyspieszania krzesła ewakuacyjnego podczas jego używania, co zagrażało bezpieczeństwu osoby ewakuowanej i operatora.
- D. Intensywne użytkowanie krzeseł ewakuacyjnych A i B mogło prowadzić do uszkodzeń zarówno samego krzesła ewakuacyjnego, jak i infrastruktury budynku (schodów).
- E. Sposób użytkowania krzesła ewakuacyjnego, w szczególności nieprecyzyjne prowadzenie po schodach, nie po linii prostej, znacząco wpływa na szybkość zużywania się pasów jezdnych. Podkreśla to znaczenie regularnych ćwiczeń w prawidłowym wykorzystaniu urządzeń ewakuacyjnych.

Wnioski z tych badań umożliwiają sformułowanie wytycznych dla producentów i użytkowników krzeseł ewakuacyjnych oraz zarządców obiektów:

- A. Producenci krzeseł ewakuacyjnych powinni podawać w dokumentacji dostarczanej z wyrobem maksymalną liczbę kondygnacji, które może pokonać dane krzesło ewakuacyjne do awarii lub do konieczności wykonania czynności serwisowej. Taka informacja pozwoli zarządcy obiektu na określenie jakie koszty będą związane z wymianą pasów jezdnych w trakcie użytkowania krzeseł ewakuacyjnych.
- B. W przypadku stosowania pasów gumowych mających tendencje do wydłużania się należy rozważyć zastosowanie rozwiązań technicznych, konstrukcyjnych umożliwiających ich regulowany naciąg w celu zapewnienia jego bezpiecznego użytkowania.

- C. Brak odpowiedniego uwzględnienia zasięgu krzeseł ewakuacyjnych w analizie ryzyka wyrobu stanowi zagrożenie dla życia i zdrowia osób ewakuowanych.
- D. W programach szkoleń dla operatorów krzeseł ewakuacyjnych należy uwzględnić, że krzesło ewakuacyjne z uwagi na zużycie pasów może w trakcie ewakuacji poruszać się szybciej niż na początku. Należy rozważyć czy przy osobach cięższych od 80 kg nie należy zapewnić dodatkowej asysty przed krzesłem ewakuacyjnym w celu asekuracji zjazdu.
- E. Konieczne jest przeprowadzanie regularnych przeglądów technicznych krzeseł ewakuacyjnych okresowo, raz w roku przez przeszkolonego przez producenta, dystrybutora inżyniera serwisu (sprawdzenie, przegląd szczegółowy) oraz po każdorazowym ich użytkowaniu.
- F. Częsta wymiana zużytych elementów generuje duży ślad węglowy związany z produkcją, transportem i utylizacją, co jest negatywnym wpływem na środowisko.

Przeprowadzone badania wskazują, że istniejące na rynku krzesła ewakuacyjne na dwóch stałych kołach mają istotne ograniczenia, które mogą wpływać na bezpieczeństwo użytkowania i efektywność ewakuacji. Przekłada się to również na koszty związane z eksploatacją w szczególności krzesła ewakuacyjnego A i B. Aby poprawić jakość i niezawodność tego typu urządzeń, konieczne są dalsze badania, wprowadzenie nowych standardów i regulacji oraz ulepszenie konstrukcji krzeseł ewakuacyjnych. Producenci powinni zwrócić szczególną uwagę na trwałość pasów jezdnych i płoż. Na szczególną uwagę zasługują pasy jezdne, które powinny zostać wykonane w taki sposób i z takiego materiału, aby wyeliminować wady pasów gumowych. Zarządcy obiektów powinni z kolei przeanalizować w jaki sposób w ich obiekcie zostaną wdrożone i utrzymane krzesła ewakuacyjne oraz jakie to będzie generowało następstwa kosztowe w cyklu ich życia.

3.2.4 Wdrożenie ewakuacji wspomaganej w aspekcie zarządzania jakością

Aby ewakuacja ludzi z budynku, mogła być przeprowadzona skutecznie i bezpiecznie dla wszystkich osób musi zostać odpowiednio przygotowana i przeprowadzona. Ważnym jest, aby została ujęta w procesie zarządzania jakością, była precyzyjnie przygotowana, systematycznie przeglądana i aktualizowana.

Szczególną uwagę należy zwrócić na ewakuację wspomaganą, ponieważ dotyczy tych osób, które samodzielnie nie ewakuują się i mogą pozostać w budynku a tym samym być narażone na utratę zdrowia i życia.

W rozprawie przeanalizowano jakie elementy wchodzi w zakres zarządzania jakością ewakuacji wspomaganej. Istotne dla zarządcy budynku lub osoby faktycznie nim zarządzającej jest to, ile sprzętu ewakuacyjnego, jakiego, gdzie zlokalizowanego należy zapewnić, aby można było bezpiecznie i skutecznie przeprowadzić ewakuację wspomaganą. W przedmiotowym rozdziale podano rozwiązania, które opracowano na podstawie dostępnej wiedzy technicznej jak również wskazano nową wiedzę zaproponowaną przez autora rozprawy doktorskiej wynikającą z jego doświadczenia zarówno jako projektanta sprzętów ewakuacyjnych jak i byłego zawodowego strażaka, który wielokrotnie podczas służby w Państwowej Straży Pożarnej przeprowadzał ewakuacje z budynków.

3.2.4.1 Rodzaj, ilość i lokalizacja sprzętu do ewakuacji wspomaganej wynikające z wymagań normy PN-EN 17210:2021

Poniżej podsumowano wymagania dotyczące rodzaju, ilości i lokalizacji sprzętu do ewakuacji wspomaganej zgodnie z polską normą⁵, których zasadność stosowania potwierdzono w ramach rozprawy doktorskiej:

- A. Krzesła ewakuacyjne i materace ewakuacyjne należy stosować na każdym piętrze i przy każdej klatce schodowej.

UWAGA: materac ewakuacyjny nie zastępuje krzesła ewakuacyjnego ani odwrotnie; są to zgodnie z normą sprzęty ewakuacyjne nawzajem się uzupełniające.

⁵ PN-EN 17210:2021 - Dostępność i dostosowanie środowiska zabudowanego. Wymagania funkcjonalne.

B. Należy rozważyć zastosowanie dodatkowej ilości sprzętu ewakuacyjnego względem ww. pkt. 1 w bezpośrednim sąsiedztwie miejsc (np. pokoi, sal) gdzie na stałe (można przyjąć, że jest to powyżej 4 godzin na dobę jak w przypadku pobytu stałego zgodnie z definicją zawartą w rozporządzeniu⁶) przebywa osoba, która będzie potrzebowała wsparcia w przypadku konieczności przeprowadzenia ewakuacji.

3.2.4.2 Rodzaj, ilość i lokalizacja sprzętu do ewakuacji wspomaganej wynikające z wiedzy technicznej oraz wiedzy eksperckiej

Wymagania normy⁷ są wystarczające, gdy przewidujemy ewakuację tylko na zewnątrz budynku lub do innej strefy pożarowej w budynku w czasie pokoju. Zapisy wskazane w normie nie przewidują wyposażenia w sprzęt ewakuacyjny kondygnacji podziemnych obiektu, chyba że przebywają w niej ludzie.

W związku z uchwałą⁸ wprowadzającą Programu Ochrony Ludności i Obrony Cywilnej na lata 2025-2026 pojawia się uzasadniona konieczność rozpatrywania w ramach ewakuacji wspomaganej scenariuszy zdarzeń związanych z konfliktem zbrojnym.

W przypadku konfliktu zbrojnego gdy ewakuacja zostanie przeprowadzona do obiektu zbiorowej ochrony np. miejsca doraźnego schronienia (MDS)⁹ lub schronu będzie to tożsame z tym, że wszystkie osoby jakie znajdowały się w obiekcie w następstwie ewakuacji zostaną zgromadzone w kondygnacji podziemnej w mniej lub bardziej komfortowych warunkach. Osoby ewakuowane będą przebywać w MDS, schronie do czasu aż będzie na tyle bezpiecznie, aby mogły go opuścić w celu ewakuacji do innego miejsca lub pojazdów transportowych. Spowoduje to konieczność ponownego przeprowadzenia ewakuacji wspomaganej jednak tym razem wszystkich

⁶ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2022 r. poz. 1225 z późn. zm.)

⁷ PN-EN 17210:2021 - Dostępność i dostosowanie środowiska zabudowanego. Wymagania funkcjonalne.

⁸ Uchwała nr 72 Rady Ministrów z dnia 27 maja 2025 r. w sprawie zatwierdzenia Programu Ochrony Ludności i Obrony Cywilnej na lata 2025-2026 (Monitor Polski Dzienni Urzędowy 2025 r. Poz. 541).

⁹ Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 lipca 2025 r. w sprawie warunków organizowania oraz wymagań, jakie powinny spełniać miejsca doraźnego schronienia (Dz. U. 2025 poz. 932).

osób z kondygnacji podziemnej na zewnątrz obiektu, w wielu przypadkach (albo większości) schodami w górę.

Biorąc pod uwagę różne scenariusze zdarzeń proponowane jest poniższe strategiczne, dwojakie podejście w zakresie wyposażenia obiektu w sprzęt do ewakuacji wspomaganej:

- A. W kondygnacjach nadziemnych zlokalizować sprzęt niezbędny do ewakuacji wspomaganej osób na zewnątrz budynku lub do MDS, schronu (do użycia w momencie wystąpienia zagrożenia).
- B. W kondygnacjach podziemnych zlokalizować sprzęt ewakuacyjny niezbędny do ewakuacji osób z obiektu zbiorowej ochrony na zewnątrz obiektu (po ataku i ewentualnym uszkodzeniu obiektu).

Bazując choćby na skutkach nalotów powietrznych przedstawionych w ukraińskiej monografii¹⁰ zasadne jest założenie, że w czasie konfliktu zbrojnego, gdy obiekt zostanie uszkodzony to znajdujący się w kondygnacjach nadziemnych sprzęt do ewakuacji wspomaganej nawet gdy nie został wcześniej użyty to zostanie uszkodzony i szybkie dotarcie do niego nie będzie możliwe lub bezpieczne. Mając to na uwadze proponuje się przedmiotowe podejście, które pozwala przygotować się na możliwe do przewidzenia okoliczności. Takie planowanie strategiczne może mieć kluczowe znaczenie podczas prowadzenia działań mających na celu ratowanie zdrowia i życia ludzkiego.

Propozycja rekomendowanych rozwiązań:

- A. Wyposażyć pierwszą kondygnację obiektu (parter) w sprzęt ewakuacyjny zgodnie z normą¹¹, wskazany w rozdziale 3.2.4.1 tak jak pozostałe kondygnacje budynku. Z kondygnacji parteru będzie konieczności przeprowadzenia ewakuacji do

¹⁰ Monografia ukraińska pt. *(tłumaczenie własne)*: Działania jednostek SES Ukrainy w warunkach stanu wojennego. Wydanie wspólne pod redakcją Profesora Myroslava Kowala. Państwowa Służba Ratunkowa Ukrainy, Lwowski Państwowy Uniwersytet Bezpieczeństwa Życia, Narodowy Uniwersytet Obrony Cywilnej Ukrainy, Czerkaski Instytut Bezpieczeństwa Pożarowego im. Bohaterów Czarnobyla Narodowy Uniwersytet Obrony Cywilnej Ukrainy, Instytut Administracji Publicznej i Badań Naukowych w Zakresie Obrony Cywilnej. Lwów 2023.

¹¹ PN-EN 17210:2021 - Dostępność i dostosowanie środowiska zabudowanego. Wymagania funkcjonalne.

kondygnacji podziemnej schodami / klatką schodową a nie tylko na zewnątrz obiektu lub do innej strefy pożarowej na tym samym poziomie.

- B. Wyposażyć każdą kondygnację obiektu w noszak transferowy – do przenoszenia osób ze szczególnymi potrzebami „na” i „ze” sprzętu ewakuacyjnego w ilości 1 szt. w każdym obszarze ratowniczym w kondygnacjach nadziemnych i 2 szt. w każdym obszarze ratowniczym w kondygnacjach podziemnych.
- C. Kondygnacje podziemne budynku przeznaczone na MDS, schron wyposażyć w:
 - a. Krzesło ewakuacyjne z mechanizmem wspinaczkowym i hamulcem tylnych kół / osi do ewakuacji w dół i w górę po schodach (napędzane siłą ludzkich mięśni); do transportu i ewakuacji po schodach w taki sposób, że krzesło ewakuacyjno - transportowe jedzie po nich a nie jest przenoszone; należy stosować takie krzesło ewakuacyjne, które umożliwia realizację powyższej funkcji bez konieczności użycia napędu elektrycznego – w sytuacji awaryjnej może nie być możliwe ponowne naładowanie baterii lub w przypadku konieczności użycia będzie uszkodzony silnik czy rozładowana bateria; rekomenduje się użycie takiego sprzętu ewakuacyjnego, który z uwagi na swoją konstrukcję jest wysoce niezawodny i samowystarczalny w długim czasie.
 - b. Materac ewakuacyjny z funkcją przenoszenia i regulowanymi pasami; dedykowany osobom, które muszą być transportowane w pozycji leżącej lub gdy schody ulegną takiemu zniszczeniu, że nie będzie możliwy wjazd po nich w górę przez krzesło ewakuacyjno-transportowe.
 - c. Nosze płachtowe – do ewakuacji na zewnątrz obiektu do pokonywania dużych odległości, ale nie wewnątrz obiektu, gdzie jako podstawowy sprzęt do ewakuacji wspomaganej między kondygnacjami rekomendowane są krzesła ewakuacyjne i materace ewakuacyjne.

Każdy z ww. sprzętów w ilości 2 szt. przy każdej klatce schodowej i schodach.

3.2.4.3 Przykładowe jakościowe i ilościowe wyposażenie obiektu użyteczności publicznej w sprzęt do wsparcia ewakuacji wspomaganej

W celu przeprowadzenia skutecznej ewakuacji wspomaganej osoby ze szczególnymi potrzebami dwuetapowo tzn. w pierwszej kolejności z budynku do obiektu zbiorowej ochrony a następnie po ustaleniu zagrożenia lub w przypadku konieczności dotarcia do środka transportu z obiektu zbiorowej ochrony.

W celu wykonania zestawienia kosztowego założono, że w sprzęt ewakuacyjny i pomocniczy zostanie wyposażony budynek użyteczności publicznej posiadający:

- 3 kondygnacje nadziemne,
- 1 kondygnację podziemną,
- jedną klatkę schodową łączącą wszystkie kondygnacje budynku,
- szyb z dźwigiem dla ekip ratowniczych do którego zapewniony jest dostęp z każdej kondygnacji.

Poniżej zestawiono wymagany sprzęt ewakuacyjny i pomocniczy zgodnie z wymaganiami wskazanymi w rozdziale 3.2.4.1 oraz 3.2.4.2:

- A. Wyposażyć pierwszą, drugą i trzecią kondygnację nadziemną budynku w obszarze pomocy ratowniczej w 1 sztukę (przy klatce schodowej i dźwigu dla ekip ratowniczych):
- a. Krzesła ewakuacyjnego na stałych czterech kołach typu jak na Rysunku 50, zapewniającego ewakuację w górę i w dół oraz spełniającego wymagania polskiej normy PN-EN 17210¹²: łączna ilość 6 szt.

¹² PN-EN 17210:2021 - Dostępność i dostosowanie środowiska zabudowanego. Wymagania funkcjonalne.



Rysunek 50. Krzesło ewakuacyjne na stałych czterech kołach FALCON 2.0
(źródło: EnSafe.One, („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

- b. Materaca ewakuacyjnego z własną gąbką, funkcją przenoszenia i regulowanymi pasami typu jak na Rysunku 51 oraz spełniającego wymagania polskiej normy PN-EN 17210¹³: łączna ilość 6 szt.



Rysunek 51. Materac ewakuacyjny SLIM (źródło: EnSafe.One, („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

¹³ PN-EN 17210:2021 - Dostępność i dostosowanie środowiska zabudowanego. Wymagania funkcjonalne.

- c. Noszaka transferowego typu jak na Rysunku 52: łączna ilość 6 szt.



Rysunek 52. Noszak transferowy Easy Move (źródło: EnSafe.One, („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

- B. Wyposażyć kondygnację podziemną budynku mogącą realizować potrzeby obiektu zbiorowej ochrony w obszarze pomocy ratowniczej w 2 sztuki (przy klatce schodowej oraz dźwigu dla ekip ratowniczych):
- a. Krzesła ewakuacyjno z mechanizmem wspinaczkowym do ewakuacji w dół i w górę po schodach oraz hamulcem tylnych kół / osi (napędzane siłą ludzkich mięśni; bez konieczności przenoszenia krzesła ewakuacyjno-transportowego i bez konieczności napędu elektrycznego) typu jak na Rysunku 53 oraz spełniającego wymagania polskiej normy¹⁴.



Rysunek 53. Krzesło ewakuacyjne RESCUE Shelter (źródło: EnSafe.One, („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

¹⁴ PN-EN 17210:2021 - Dostępność i dostosowanie środowiska zabudowanego. Wymagania funkcjonalne.

- b. Materaca ewakuacyjnego z własną gąbką, funkcją przenoszenia i regulowanymi pasami typu jak na Rysunku 54 oraz spełniającego wymagania polskiej normy¹⁵



Rysunek 54. Materac ewakuacyjny SLIM (źródło: EnSafe.One, („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

- c. Noszy płachtowych typu jak na Rysunku 55.



Rysunek 55. Nosze płachtowe RESCUE (źródło: EnSafe.One, („Ensafe evacuation chairs”, 2025)).

¹⁵ PN-EN 17210:2021 - Dostępność i dostosowanie środowiska zabudowanego. Wymagania funkcjonalne.

- materac ewakuacyjny (typu SLIM) z funkcją przenoszenia i regulowanymi pasami, ilość: 1 szt.
- noszak transferowy (typu Easy Move) ilość: 1 szt.

B. Pod numer „2” znajduje się:

- krzesło ewakuacyjne (typu Rescue Shelter) z mechanizmem wspinaczkowym do ewakuacji w dół i w górę po schodach oraz hamulcem tylnych kół / osi (napędzane siłą ludzkich mięśni; bez konieczności przenoszenia krzesła ewakuacyjnego i bez konieczności napędu elektrycznego), ilość: 2 szt.
- materac ewakuacyjny (typu SLIM) z funkcją przenoszenia i regulowanymi pasami ilość: 2 szt.
- nosze płachtowe (typu RESCUE) ilość: 2 szt.
- noszak transferowy (typu Easy Move) ilość: 2 szt.

Zestawienie całkowitych kosztów (kwoty netto) wdrożenia i utrzymania sprzętu do ewakuacji wspomaganej na cele procesu zarządzania jakością:

A. Zakup sprzętu ewakuacyjnego i pomocniczego:

- krzesło ewakuacyjne FALCON 2.0: 6 szt. x 6,75 tys. zł = 40,5 tys. zł,
- materac ewakuacyjny SLIM: 8 szt. x 3,5 tys. zł = 28,0 tys. zł,
- noszak transferowy Easy Move: 8 szt. x 0,6 tys. zł = 4,8 tys. zł,
- krzesło ewakuacyjne RESCUE Shelter: 2 szt. x 6,75 tys. zł = 13,5 tys. zł,
- nosze płachtowe typu RESCUE: 2 szt. x 0,8 tys. zł = 1,6 tys. zł,

Całkowity koszt zakupu sprzętu: 88,4 tys. zł.

C. Szkolenie operatorów sprzętu:

- 3,5 tys. zł rocznie za 1 grupę do 6 osób.

D. Koszt utrzymania jakości sprzętu w cyklu życia produktu:

- krzesło ewakuacyjne, materace ewakuacyjny: 350 zł /szt. (raz na rok): 16 szt. x 350 zł = 5,6 tys. zł,

- noszak transferowy, nosze płachtowe: 150 zł /szt. (raz na rok): 10 szt. x 150 zł = 1,5 tys. zł

E. Koszty napraw nie objętych gwarancją – normatywne zużycie sprzętu np. wymiana pasów jezdnych.

UWAGA: dotyczy głównie krzeseł ewakuacyjnych i zależy od tego kto jest ich producentem – w przypadku niektórych wyrobów konieczność wymiany pasa jezdneho może występować częściej niż raz na 5 lat co wskazano podczas jednego z badań przedstawionych w rozprawie doktorskiej.

Koszt wymiany pasa jezdneho wraz z usługą serwisową: 8 szt. x 500 zł = 4,0 tys. zł (raz na 5 lat).

F. Koszt uszkodzenia obiektu w wyniku nieprawidłowego używania sprzętu ewakuacyjnego lub nieodpowiedniego doboru sprzętu do infrastruktury obiektu (koszt uzależniony jednostkowo od zakresu szkód).

3.2.5 Wnioski z badań własnych

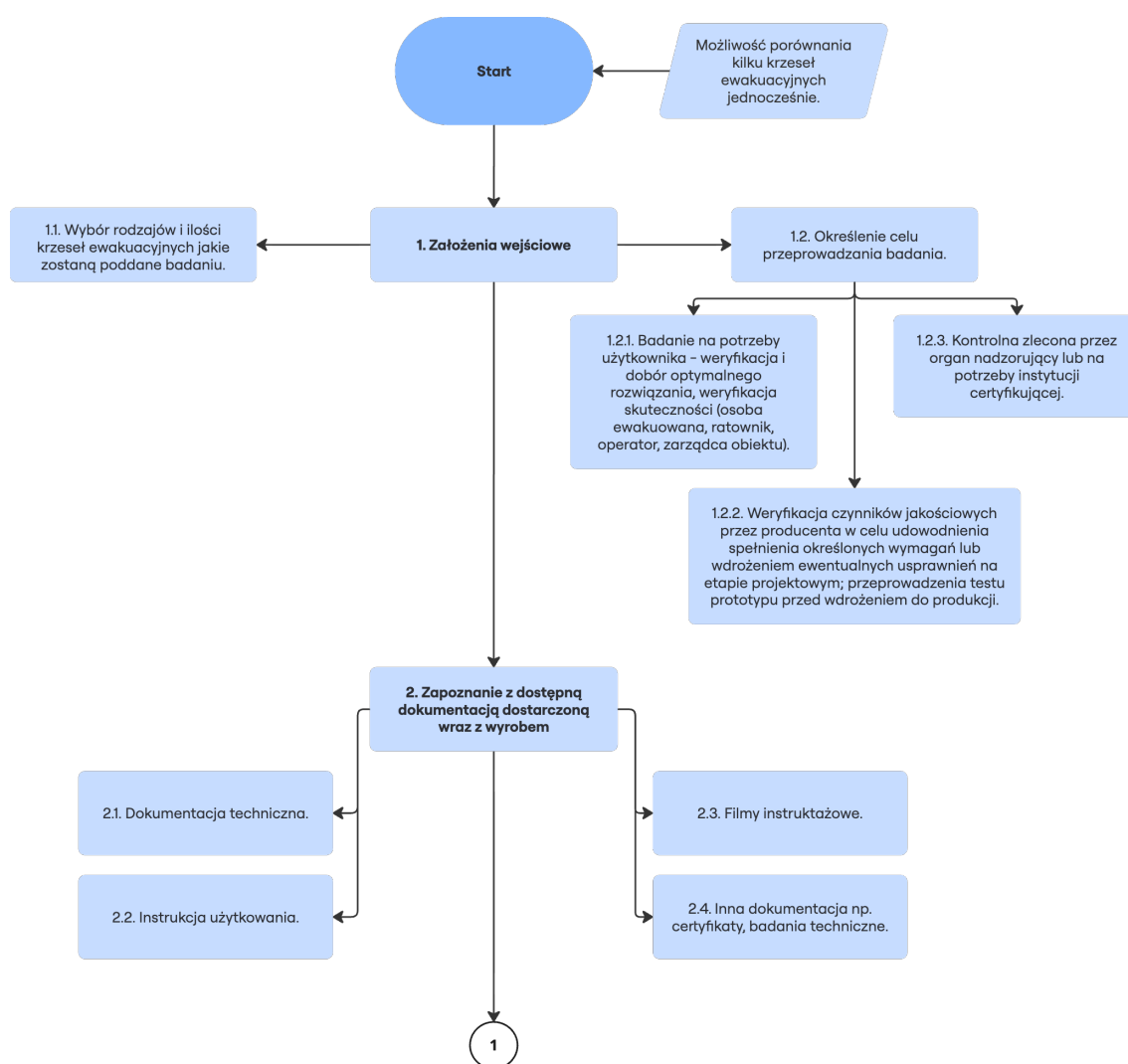
Przeprowadzone badania w ramach przedmiotowego rozdziału wskazały jak wiele czynników wpływa na jakość krzesła ewakuacyjnego. Ich standaryzacja w kompleksowym podejściu na poziomie globalnym jest nie tylko pożądana, lecz niezbędna. Zapewni to zarządzanie ewakuacją wspomaganą w sposób bezpieczny, skuteczny i optymalny kosztowo w przyszłości. Obecnie czynniki jakościowe tylko w bardzo ogólny sposób umożliwiają ocenę jakości i bezpieczeństwa krzeseł ewakuacyjnych. Brak jest badań i testów, które mogłyby poprawnie walidować ich czynniki jakościowe w odniesieniu do realnych warunków użytkowych a nie krótkotrwałych laboratoryjnych. Obecne czynniki jakościowe w ogóle nie odnoszą się do kwestii związanych z kosztami zakupu i utrzymania tego sprzętu w pełnej sprawności. Obecnie każda instytucja publiczna czy firmy planują budżety roczne. Przed zakupem tego typu sprzętu wymagane jest poznanie kosztów jakie wygenerują. Niestety zarządcy obiektu odpowiedzialni za wdrożenie ewakuacji wspomaganą w obiekcie, niejednokrotnie nie mają wiedzy, że na koszty wdrożenia będzie składał się szereg elementów tj. nie tylko zakup samych krzeseł ewakuacyjnych, ale w także koszty szkolenia wstępnego i cyklicznych (co rocznie), przegląd techniczny i wymiana podzespołów zużywalnych czy naprawy pogwarancyjne. Dane zawarte w tym rozdziale umożliwiają zarządcą obiektu lepsze planowanie budżetu i wybór rozwiązań, które z ich perspektywy użytkowo-kosztowej będą najlepiej odpowiadać ich potrzebom.

Przeprowadzone testy w zakresie szybkości ewakuacji dostarczają nowy zasób wiedzy dla osób planujących ewakuację z budynku i będących odpowiedzialnych za ich przeprowadzenie. Wnioski z badań umożliwiają dobór odpowiedniego rodzaju i ilości krzeseł ewakuacyjnych oraz ich rozmieszczenie w taki sposób, aby zapewnić niezwłoczny do nich dostęp w przypadku wystąpienia ewakuacji. Przeprowadzone symulacje komputerowe wskazują jaki wpływ na ewakuację wszystkich osób z budynku może mieć ewakuacja osób ze szczególnymi potrzebami i na jakie etapy można podzielić ten proces. W szczególności zwraca się uwagę na aspekt związany z transferem osoby ewakuowanej na sprzęt i ze sprzętu ewakuacyjnego, ponieważ jest to proces mający największy wpływ na szybkości ewakuacji i bezpieczeństwo osób ją przeprowadzających.

4 Autorska metodyka badawcza oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych

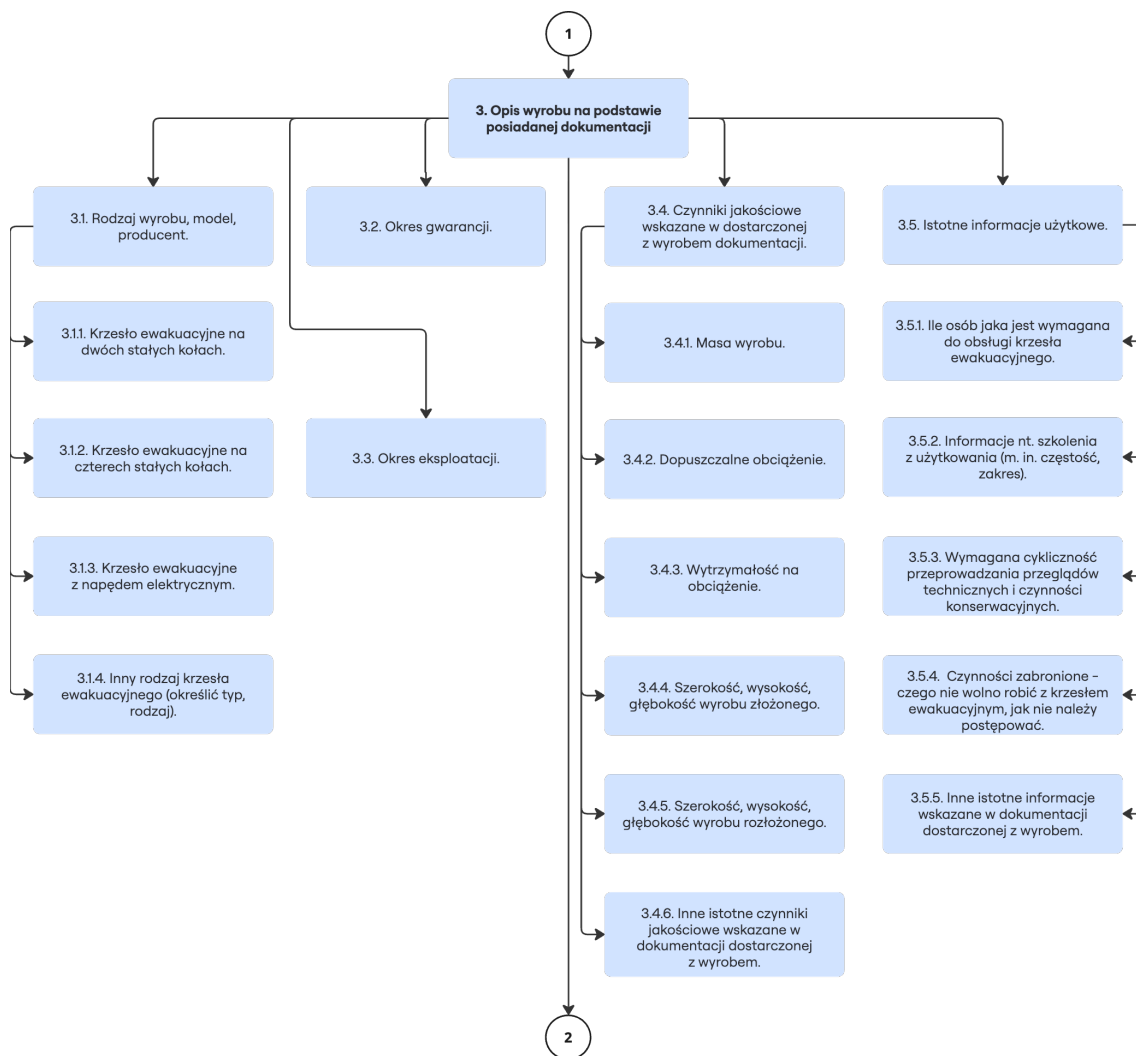
Na podstawie cytowanych norm i wytycznych technicznych w kontekście jakości krzeseł ewakuacyjnych, na podstawie literatury naukowej oraz na podstawie przeprowadzonych badań własnych opracowano autorską metodykę oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych zapewniającą bezpieczeństwo ich użytkowania. Wyniki pracy wskazano na Rysunkach 58 – 62.

Na Rysunku 58 pokazano przejście od założeń wejściowych (jakie krzesła ewakuacyjne badamy i w jakim celu), zapoznanie się z dokumentacją techniczną, aż po opis wyrobu na podstawie zgromadzonych informacji (badanie typu).



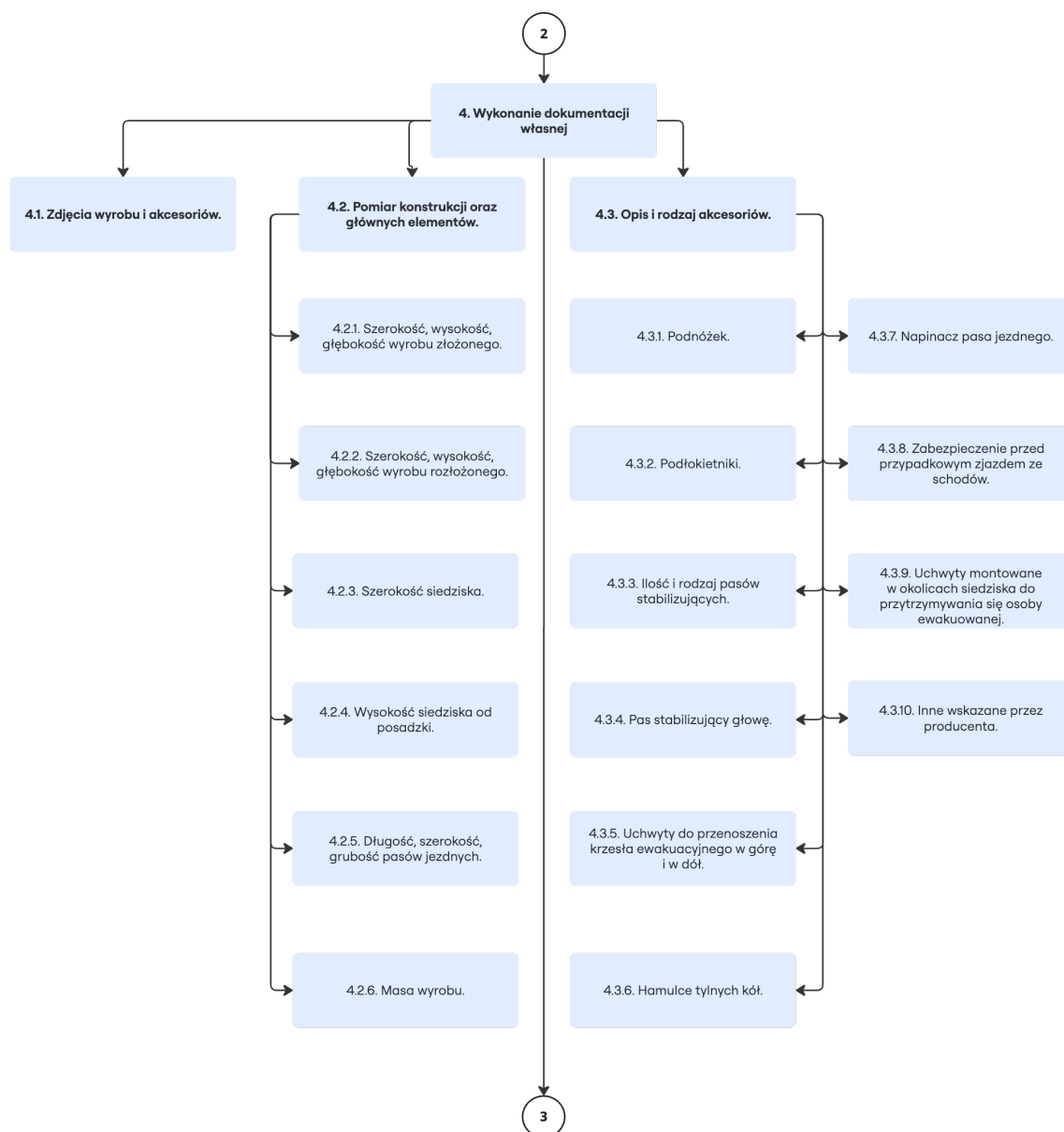
Rysunek 58. Metodyka badawcza oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych cz. 1
(źródło: opracowanie własne).

Na Rysunku 59 pokazano dalsze kroki opracowanej metodyki oceny jakości produktów, koncentrujące się na opisie wyrobu na podstawie dostępnej dokumentacji (np. typ i model produktu, parametry techniczne, okres gwarancyjny, czynniki jakościowe) w celu przeprowadzenia dalszej analizy i stworzenia własnej dokumentacji badawczej.



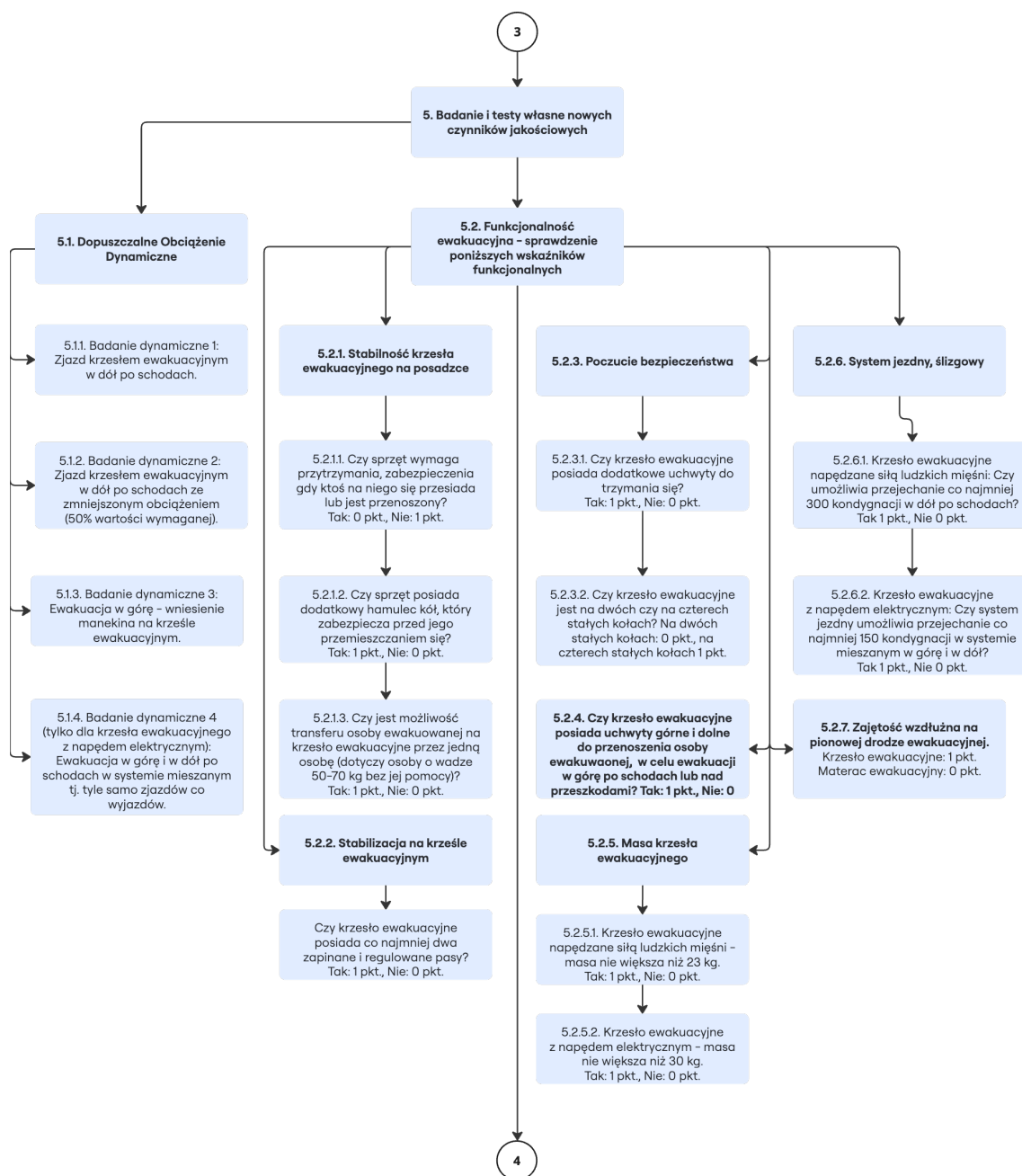
*Rysunek 59. Metodyka badawcza oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych cz. 2
(źródło: opracowanie własne).*

Rysunek 60 ukazuje dalsze zaawansowane etapy metodyki, od sformułowania metodyki eksperymentu, poprzez badanie właściwe i analizę danych, aż po wnioskowanie i formułowanie rekomendacji. Wskazuje na zastosowanie różnych metod, takich jak testy, symulacje czy ankiety eksperckie.



Rysunek 60. Metodyka badawcza oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych cz. 3 (źródło: opracowanie własne).

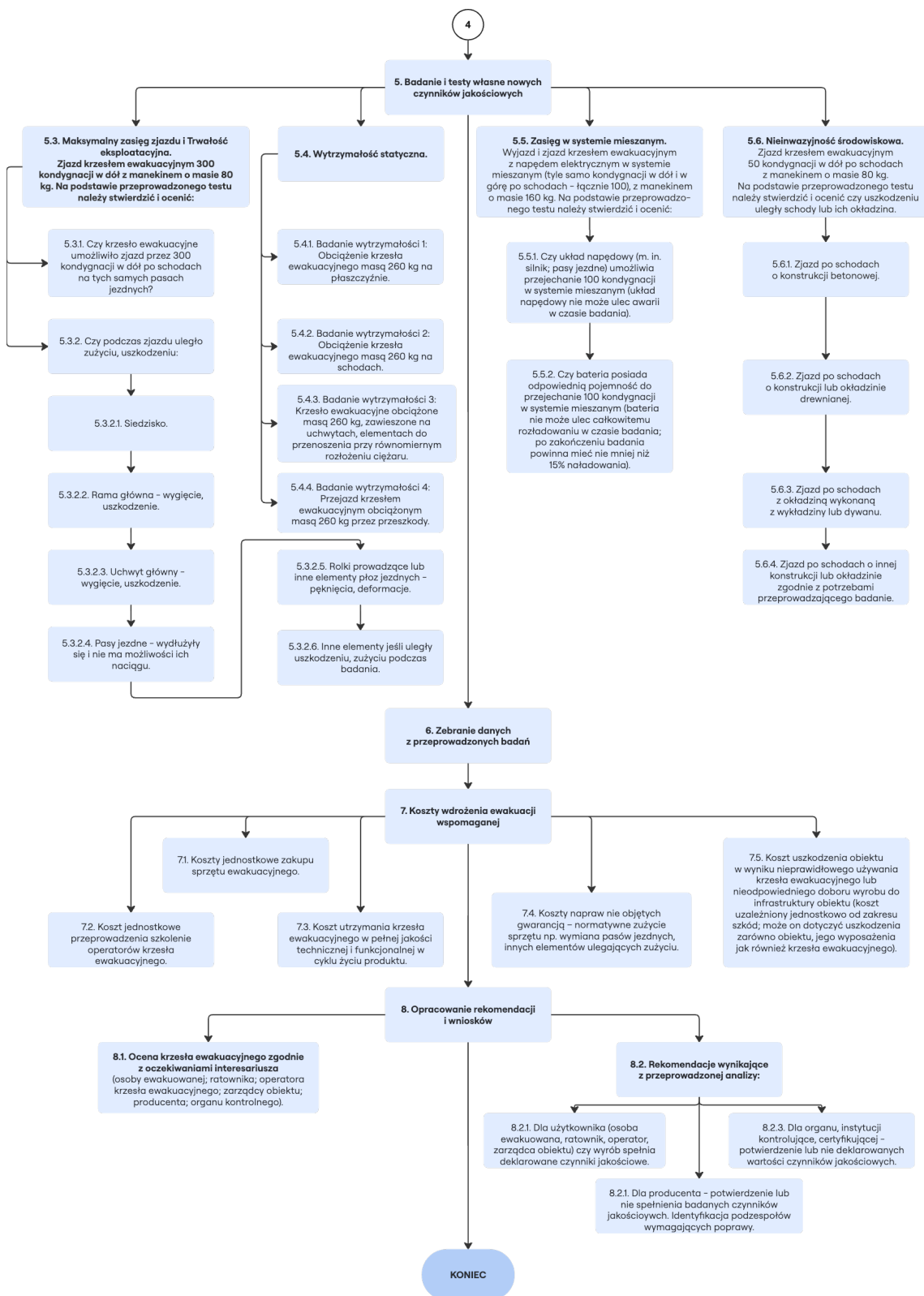
Rysunek 61 to kolejna część szczegółowego planu testów i badań, mających na celu ocenę jakości krzesła ewakuacyjnego. Zawiera listę konkretnych czynników do weryfikacji, takich jak dopuszczalne obciążenie dynamiczne, funkcjonalność ewakuacyjna czy poczucie bezpieczeństwa użytkownika. To swoisty protokół pomiarowy, który pozwala na obiektywną ocenę parametrów produktu.



Rysunek 61. Metodyka badawcza oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych cz. 4
(źródło: opracowanie własne).

Rysunek 62 przedstawia końcowe elementy opracowanej metodyki m. in.: testy symulujące intensywne użytkowanie krzesła, z manekinem o masie 80 kg; testy krzesła ewakuacyjnego, sprawdzające jak znosi ono obciążenia statyczne o masie 260 kg; testy sprawdzające niezawodność krzesła ewakuacyjnego w różnych warunkach środowiskowych, np. na schodach o różnych rodzajach nawierzchni (beton, drewno, terakota); koszty związane z użytkowaniem krzesła ewakuacyjnego, takie jak koszt zakupu, szkoleń czy utrzymania. Końcowy etap (8) dotyczy oceny krzesła ewakuacyjnego

na podstawie zebranych danych i formułowania rekomendacji dla różnych grup interesariuszy, np. dla producentów, zarządców obiektów czy instytucji regulacyjnych.



Rysunek 62. Metodyka badawcza oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych cz. 5 (źródło: opracowanie własne).

Opisywany autorski protokół badawczy oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych wskazany na Rysunkach 58 - 62 zawiera informacje i dane umożliwiające przeprowadzenie kompleksowej i komplementarnej oceny tego wyrobu. Dodatkowe szczegółowe informacje nt. przebiegu badań i testów w zakresie nowych czynników jakościowych zostały wskazane w rozprawie doktorskiej we wskazanych pkt.:

- dopuszczalne obciążenie dynamiczne: pkt 3.2.1,
- funkcjonalność ewakuacyjna: pkt 3.2.2,
- maksymalny zasięg zjazdu: pkt 3.2,
- trwałość eksploatacyjna: pkt 3.2.3,
- wytrzymałość statyczna: pkt 3.2.1,
- zasięg krzesła ewakuacyjnego (z napędem elektrycznym) w systemie mieszanym: pkt 3.2.1,
- nieinwazyjność środowiskowa: pkt 3.2.3.

Opracowana metodyka badawcza jest pierwszą na świecie, która w tak dokładny i przekrojowy sposób umożliwia ocenę jakości krzeseł ewakuacyjnych zapewniając ich bezpieczeństwo użytkowania. Ponadto metodyka ta pozwala uzyskać szereg danych i informacji niezbędnych do skutecznego zarządzania procesem ewakuacji. Dostarcza ona rzetelne informacje dla szeregu interesariuszy począwszy od użytkowników krzesła ewakuacyjnego jak osoba ewakuowana, operator, ratownik poprzez zarządcę obiektu i producenta a skończywszy na organach kontrolnych i instytucjach certyfikujących. Metodyka badawcza umożliwia także analizę kosztów wdrożenia krzeseł ewakuacyjnych oraz ewakuacji wspomaganej w ramach zarządzania obiektem i pozwala estymować zarządcy obiektu nie tylko koszty zakupu, lecz przewidzieć pozostałe jakie mogą wystąpić w trakcie ich użytkowania, całym cyklu życia. Metodyka umożliwia wybór takiego krzesła ewakuacyjnego, którego całkowity koszt w rozbiciu na cały okres eksploatacji będzie najniższy a nie bazując tylko na koszcie zakupu, który nie odzwierciedla realnych kosztów jakie będą musiały być poniesione w przyszłości.

Opracowana metodologia jest na tyle elastyczna, że może zostać zaadaptowana zarówno przez producentów, jak i zarządców obiektów. Jej wdrożenie przyczyni się do znaczącego podniesienia standardów bezpieczeństwa i jakości w procesie ewakuacji osób ze szczególnymi potrzebami.

5 Podsumowanie i kierunki dalszych badań

Rosnąca liczba osób z niepełnosprawnościami oraz starzejące się społeczeństwo wpływają na konieczność opracowania skutecznych i bezpiecznych rozwiązań wspomagających ewakuację osób z budynku, w tym z wykorzystaniem urządzeń takich jak krzesła ewakuacyjne. Dotychczas brak jest jednolitych metod oceny jakości sprzętu ewakuacyjnego, co utrudnia racjonalne decyzje zakupowe podejmowane przez zarządców obiektów oraz ogranicza możliwości użytkowników w wyborze odpowiednich rozwiązań.

W ramach pracy doktorskiej opracowano i zaproponowano metodykę oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych, w której uwzględniono potrzeby kluczowych grup interesariuszy: osoby ewakuowanej, operatora sprzętu (operatora / ratownika), producenta, zarządcy obiektu, producenta i organów certyfikujących, nadzorczych. Podejście to pozwala nie tylko na testowanie, ocenę nowych czynników jakościowych, ale również na ocenę przydatności użytkowanego sprzętu ewakuacyjnego w kontekście realnych scenariuszy zagrożenia. Wyniki przeprowadzonych badań mogą zostać zaimplementowane przy opracowywaniu procedur ewakuacji wspomaganej.

Osoba ewakuowana powinna mieć zapewnione maksymalne poczucie stabilizacji, komfortu i godności w czasie całego procesu ewakuacji. Dotychczasowe rozwiązania nie zawsze spełniają te wymagania, a konstrukcja wielu urządzeń nie była projektowana z uwzględnieniem zróżnicowanych potrzeb tej grupy użytkowników. Opracowana metodyka oceny uwzględnia m.in. stabilność krzesła ewakuacyjnego, skuteczność pasów bezpieczeństwa, możliwość samodzielnego przesiadania się oraz ocenę subiektywnego komfortu osoby ewakuowanej.

W odniesieniu do operatora krzesła ewakuacyjnego wskazano, że jego bezpieczeństwo oraz fizyczne obciążenie związane z prowadzeniem ewakuacji ma istotny wpływ na skuteczność całej procedury. Opracowano kryteria oceny jakości sprzętu uwzględniają m.in. wysiłek fizyczny, konieczność szkolenia operatorów, łatwość obsługi mechanizmów blokujących i wspomagających transport oraz poziom intuicyjności działania urządzenia w warunkach stresu.

Wskazano, że zarządca obiektu pełni kluczową rolę w zapewnieniu dostępności ewakuacyjnej, jednak często brakuje mu wytycznych co do tego, jakie cechy powinien posiadać sprzęt ewakuacyjny oraz jaka liczba urządzeń powinna być dostępna w budynku. Opracowana w rozprawie metodyka oceny jakości dostarcza praktycznych narzędzi wspomagających podejmowanie decyzji inwestycyjnych, umożliwiając racjonalne porównanie sprzętów różnych producentów na podstawie zestandaryzowanych kryteriów.

Jednym z istotnych efektów pracy jest zaproponowanie nazewnictwa i klasyfikacji czynników jakościowych sprzętu, które pozwala na pogrupowanie ich w kategorie odnoszące się bezpośrednio do bezpieczeństwa, funkcjonalności – komfortu oraz kosztów użytkowania. Takie podejście pozwala lepiej zrozumieć, które cechy sprzętu ewakuacyjnego mają znaczenie z perspektywy poszczególnych interesariuszy i w jakim stopniu wpływają na powodzenie procesu ewakuacji.

Opracowano zestawy testów weryfikacyjnych, w tym eksperymentalnych i symulacyjnych, które służą do walidacji czynników jakościowych. Wykorzystanie oprogramowania Pathfinder umożliwiło przeprowadzenie serii symulacji scenariuszy ewakuacyjnych, co pozwoliło na ilościową ocenę wpływu rodzaju sprzętu, liczby operatorów oraz strategii rozmieszczenia urządzeń na czas całkowity ewakuacji. Szczególną rolę odgrywa liczba operatorów przypisanych do jednego urządzenia, w szczególności w fazie transferu „na” i „z” sprzętu ewakuacyjnego, na łączny czas ewakuacji. Zwiększenie liczby osób pomagających przy transferze osób na sprzęt ewakuacyjny znacząco skraca czas ewakuacji oraz obniża poziom zmęczenia osób. Ma to kluczowe znaczenie z punktu widzenia planowania procedur ewakuacyjnych w obiektach użyteczności publicznej.

W analizie uwzględniono również trwałość i żywotność komponentów sprzętu, w szczególności pasów jezdnych krzeseł ewakuacyjnych. Opracowano metodę testowania ich przydatności, wskazując na potrzebę uwzględnienia cyklicznych testów eksploatacyjnych w procedurach utrzymania sprzętu ewakuacyjnego w pełnej sprawności (okresowe przeglądy). Zarządcy obiektów powinni posiadać wiedzę nie tylko o kosztach zakupu sprzętu, ale również o kosztach eksploatacji i planowanych przeglądach urządzeń.

Przyjęta metodyka badawcza charakteryzuje się wysokim poziomem praktyczności oraz możliwością wdrożenia jej jako narzędzia wspomagającego decyzje zakupowe i proceduralne w kontekście zapewnienia dostępności ewakuacyjnej. Zaproponowane podejście wypełnia istniejącą lukę w literaturze naukowej i praktyce inżynierskiej, gdzie dotąd brakowało narzędzi pozwalających na kompleksową ocenę sprzętu ewakuacyjnego z uwzględnieniem perspektywy użytkowników końcowych.

Praca ma również wymiar społeczny – uwrażliwia na potrzeby osób ze szczególnymi potrzebami oraz promuje rozwiązania zgodne z zasadami projektowania uniwersalnego. Wdrożenie wyników pracy może przyczynić się do poprawy jakości życia osób z ograniczoną mobilnością poprzez zapewnienie im większego bezpieczeństwa i godności w sytuacjach zagrożenia.

5.1 Wyniki badań naukowych

Zauważono, że w dotychczasowej literaturze naukowej brakuje badań dotyczących oczekiwań potencjalnych użytkowników i zarządców obiektów, co uniemożliwia pełne zdefiniowanie parametrów jakościowych sprzętu ewakuacyjnego. Celem opisywanych badań i analiz jest wypełnienie tej luki poprzez identyfikację, opracowanie oraz praktyczną weryfikację nowych czynników jakościowych, w tym wytrzymałości eksploatacyjnej kluczowego podzespołu — układu napędowego, co pozwoliło na stworzenie kompleksowej i opartej na danych metodyki oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych. W ramach pracy osiągnięto następujące cele naukowe:

- A. Dokonano kwerendy bibliograficznej i analizy w zakresie: aktualnych kierunków badań naukowych, stanu techniki oraz wymagań normatywnych dotyczących ewakuacji osób ze szczególnymi potrzebami w aspekcie identyfikacji metodyki oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych zapewniającej bezpieczeństwo ich użytkowania dla użytkownika i operatora.
- B. Zidentyfikowano wskaźniki, które należy wziąć pod uwagę przy projektowaniu urządzeń do ewakuacji: bezpieczeństwo, łatwość używania, mobilność, zwrotność, niezawodność, kompatybilność z różnymi obiektami budowlanymi, ergonomia dla osoby ewakuowanej i dla ratowników, wpływ jakości krzeseł ewakuacyjnych na zarządzanie jakością ewakuacji w obiekcie użyteczności publicznej. Na podstawie

analiz stwierdzono, że w literaturze naukowej brakuje wyników prac naukowych dotyczących czynników jakościowych oczekiwanych przez potencjalnych użytkowników krzeseł ewakuacyjnych oraz zarządców obiektów odpowiedzialnych za organizację i wdrożenie ewakuacji wspomaganej w obiekcie użyteczności publicznej. Znajomość tych oczekiwań pozwoliła na sformułowanie opartych na badaniach wytycznych mających na celu zdefiniowanie parametrów jakościowych i opracowanie metodyki oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych.

- C. Stwierdzono, że standard RESNA/ANSI ed-1:2019 zawiera zbiór ogólnie znanych zagadnień wdrożonych już w istniejących na świecie krzesłach ewakuacyjnych. Choć jest jedynym i najbardziej szczegółowym dokumentem w tym zakresie, nie odnosi się w szczególności do poszczególnych aspektów, czynników jakościowych, które mogłyby posłużyć do opracowania metodologii badawczej w tym zakresie. Użyty model manekina nie odzwierciedla ciała człowieka i jego komplementarnego wpływu na krzesło ewakuacyjne, operatora i cały proces ewakuacji.
- D. Poddane analizie akty prawne dotyczące bezpieczeństwa budynków, normy techniczne dotyczące wyrobów medycznych (m. in. PN-EN 1865-1; PN-EN 1865-4) oraz dostępności architektonicznej (PN-EN 17210:2021-06) wskazują tylko podstawowe, powszechnie znane i również wskazane w standardzie RESNA aspekty dotyczące sprzętu ewakuacyjnego. Z uwagi na ograniczoną wiedzę zawartą w normach analizie poddano badania, które zostały przeprowadzone na całym świecie w tym wiele z nich w Stanach Zjednoczonych, ale i w Polsce (39 artykułów, prac badawczych). Wnioski z badań zostały wykorzystane podczas stosowanych metod badawczych jak: obserwacja, eksperyment, wywiady, testy jakościowe i funkcjonalne.
- E. Następnie przeprowadzono badania, których celem było opracowanie kluczowych podsystemów jakie zawierają krzesła ewakuacyjne tj. (1) rama z układem podparcia ciała, (2) mechanizmy składania, regulacji oraz asekuracji, (3) układ jezdno-napędowy które mają wpływ na jakość krzesła ewakuacyjnego. Na podstawie przeprowadzonej analizy oraz badań opracowano zestawienie wstępnych czynników jakościowych, które mają wpływ, oddziałują na osobę ewakuowaną oraz tych

które mają wpływ, oddziałują na osobę przeprowadzającą ewakuację (obsługującą krzesło ewakuacyjne).

- F. Przeanalizowano dostępne badania nt. układu jezdnego w krzesłach ewakuacyjnych. Głównym aspektem była trwałość eksploatacyjna. W badań naukowych, normach technicznych znajdują się ogólne informacje nie odnoszące się do kwestii technicznych, projektowych. Interesującym odkryciem było, że istnieje wiedza nt. sposobu pracy napędu wykorzystywanego w krzesłach ewakuacyjnych jednak bez żadnej analizy jaki on ma wpływ na cały proces ewakuacji i koszty wdrożenia oraz utrzymania jakości tego sprzętu. Ani w normach, ani w materiałach udostępnianych przez producentów krzeseł ewakuacyjnych nie pojawia się informacja jaką wytrzymałość techniczną posiada taki układ napędowy zbudowany z płozy ślizgowej oraz pasów jezdnych i jaki jest koszt oraz czasookres wymian pasów.
- G. Wykonano analizę ryzyka, która wykazała, że podzespołem krytycznym z uwagi na zarządzanie jakością i możliwość bezpiecznego użytkowania krzesła ewakuacyjnego w cyklu życia wyrobu jest układ napędowy wraz z pasem jezdnym. Rola jaką pełni jest o tyle istotna, że jego uszkodzenie uniemożliwia użytkowanie krzesła ewakuacyjnego. Wpływ na jego uszkodzenie może mieć konstrukcja płoż, konstrukcja i jakość pasa jezdnego, rodzaj schodów w tym ich kąt nachylenia, masa osoby ewakuowanej. Gdy pas jezdny zostanie uszkodzony krzesło ewakuacyjne nie może być dalej użytkowane.
- H. Pozyskana wiedza umożliwiała zidentyfikowanie nowego czynnika jakościowego jakim posługiwano się w dalszej części badań tj. ilość kondygnacji jakie może pokonać krzesło ewakuacyjne w dół i w górę po schodach (w górę krzesło ewakuacyjne z napędem elektrycznym).
- I. Opracowano siedem nowych czynników jakościowych dla krzeseł ewakuacyjnych.
- J. Wskazano jaka w obiekcie użyteczności publicznej powinna znajdować się ilość sprzętu ewakuacyjnego i pomocniczego oraz gdzie ten sprzęt powinien się znajdować.
- K. Zestawiono jakie są koszty wdrożenia ewakuacji wspomaganej w obiekcie użyteczności publicznej.
- L. Opracowano metodykę badawczą krzeseł ewakuacyjnych.

5.2 Wyniki prac wdrożeniowych

W wyniku realizacji pracy doktorskiej opracowano i wdrożono do praktyki przemysłowej szereg innowacyjnych rozwiązań, które redefiniują metodykę oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych. W spółce EnSafe wdrożono następujące wyniki prac:

- A. Czynniki jakościowe z podziałem na istotne z punktu widzenia osoby ewakuowanej, operatora i ratownika. Wdrożenie umożliwiło zmianę podejścia działu B+R do aspektów związanych z wytrzymałością statyczną krzesła ewakuacyjnego oraz stabilizacją osoby ewakuowanej; wdrożone czynniki zostały zaimplementowane do prowadzonych projektów; efektem tego była zmiana kilku podzespołów krzesła ewakuacyjnego jak np.: ramy siedziska (zwiększenie średnicy oraz grubości ścianek); wykonanie dodatkowych uchwytów w krześle ewakuacyjnym na dwóch stałych kołach.
- B. Badania krzesła ewakuacyjnego z wykorzystaniem udoskonalonego manekina, który odzwierciedla nie tylko masę osoby ewakuowanej, ale także jej gabaryty; zmiana spowodowała, że manekin posiada gabaryt zbliżony do człowieka – ma ręce, nogi oraz głowę – zmianie uległ rozkład sił, obciążenia na krześle ewakuacyjnym.
- C. Pomiarów jakościowych poszczególnych podzespołów krzesła ewakuacyjnego które są krytyczne z uwagi jakość wyrobu do procedury związanej z implementacją w spółce EnSafe zasad opisanych w normie technicznej ISO 13485 - System Zarządzania Jakością w Wyrobach Medycznych.
- D. Metody badawcze umożliwiające szybsze gromadzenie danych o produkcie które pozwalają na weryfikację czynników jakościowych tj. obserwacja, eksperyment oraz wywiad jako uzupełnienie obecnie wdrożonej metody tj. testów jakościowych i funkcjonalnych.
- E. Metodykę badania pasów jezdnych, która została zaimplementowana do procedur związanych z zarządzaniem jakością zgodnie z ISO 13485. Zastosowanie metodyki jest to o tyle istotne innowatorskie, że pozwoliło w bardzo szybki sposób zidentyfikować główne aspekty techniczne w układzie napędowym krzeseł ewakuacyjnych i udoskonalenie ich w taki sposób, aby firma EnSafe uzyska przewagę konkurencyjną nad głównymi konkurentami z Wielkiej Brytanii i Niemiec. Wymiernym efektem zastosowanej metodyki jest to, że konkurencyjne układy napędowe nie umożliwią

przejechania nawet 100 kondygnacji a nowy układ napędowy w krześle EnS 1 (ROBIN 2.0) i EnS 2 (FALCON 2.0) pozwala na pokonanie do 300 – 500 kondygnacji w dół po schodach w zależności od obciążenia krzesła ewakuacyjnego, rodzaju schodów i czynników towarzyszących.

- F. Przeprojektowano napinacz pasa jezdnego w układzie napędowym krzeseł ewakuacyjnych, aby była możliwość łatwiejszej regulacji bezpośrednio po zjeździe. Wykluczono również możliwość łatwego uszkodzenia jego regulacji poprzez zastosowanie śrub innego rodzaju. Jest to istotna przewaga konkurencyjna względem istniejących na świecie rozwiązań.
- G. Wprowadzono rekomendację w procesie szkolenia z użycia krzeseł ewakuacyjnych w zakresie obsługi krzesła ewakuacyjnego przez operatora. Zalecono, aby wzmocnić operatorom przekaz dotyczący prawidłowego zjazdu krzesłem ewakuacyjnym po schodach w dół. Operator powinien starać się prowadzić zjazd w taki sposób, aby odbywał się on w linii prostej bez skręcenia krzesłem w prawo lub lewo. Skręcanie krzesłem ewakuacyjnym powinno odbywać się po całkowitym podniesieniu krzesła ewakuacyjnego z płoz na koła, na spoczniku schodów i dopiero wówczas powinna nastąpić zmiana kierunku jazdy oraz przygotowanie się do kolejnego zjazdu.
- H. W dziale B+R spółki EnSafe rozpoczęto stosowanie w codziennej pracy metody ankiety, wywiadu, eksperymentu co pozwoliło na szybszą identyfikację potencjalnych problematycznych rozwiązań konstrukcyjnych, które mogłyby mieć niekorzystny wpływ na zarządzanie jakością w odniesieniu do procesu ewakuacji.
- I. Kompletną metodykę badawczą przedstawioną w rozprawie doktorskiej będącą efektem 4 lat pracy nad doktoratem.

Najważniejszym osiągnięciem jest opracowanie nowatorskiej metodyki badania pasów jezdnych, której zastosowanie pozwoliło na zwiększenie wytrzymałości układu napędowego do 300-500 pokonywanych kondygnacji, co stanowi istotną przewagę konkurencyjną. Opracowano także nową metodykę badawczą, której elementy zostały zaimplementowane w firmie do procedur zgodnych z normą ISO 13485. Te wdrożenia nie tylko podnoszą jakość i bezpieczeństwo produktu, ale również usprawniają procesy zarządzania w firmie, skracając czas weryfikacji i wdrożenia nowych rozwiązań.

5.3 Odpowiedzi na pytania badawcze

Przeprowadzone badania własne i analiza ich wyników doprowadziły do powstania nowej wiedzy, która umożliwiły odpowiedzi na sformułowane we wstępie rozprawy doktorskiej pytania badawcze.

Pytanie 1. W jaki sposób rozmieszczenie i zastosowanie różnych typów urządzeń wspomagających ewakuację wpływa na czas ewakuacji wszystkich osób z budynku, w tym osób z niepełnosprawnością?

Rozmieszczenie sprzętu ewakuacyjnego jak krzesło ewakuacyjne i materac ewakuacyjny na każdej kondygnacji budynku powyżej pierwszej i przy każdej klatce schodowej skraca czas jaki jest potrzebny na ewakuację osoby ze szczególnymi potrzebami 3-4 krotnie w zależności od rodzaju zdarzenia, obiektu i niepełnosprawności, ograniczenia mobilności osoby ewakuowanej. Jednocześnie, gdy w tym samym czasie klatką schodową ewakuują się inne osoby, proces ewakuacji wspomaganej może spowodować, że wszyscy ludzie ewakuują się z budynku kilkanaście-, kilkadziesiąt sekund później (zależy to m. in. od rodzaju, wielkości obiektu i sprawności osób ewakuujących się). Oceniając to jednak w taki sposób, że brak użycia sprzętu ewakuacyjnego jak krzesło ewakuacyjne spowodowałoby, że ewakuacja wszystkich osób z budynku trwałaby kilka-, kilkanaście- a nawet w skrajnych przypadkach (np. budynek wysokościowy) kilkadziesiąt minut dłużej niż bez użycia sprzętu ewakuacyjnego. Stwarzałoby to duże zagrożenia dla życia i zdrowia dla osoby ewakuowanej i osób realizujący ten proces.

Jednym z najważniejszych, ale często pomijanym i niedocenianym etapem procesu ewakuacji osób ze szczególnymi potrzebami jest ich transfer z wózka, łóżka, miejsca, w którym się znajdują na sprzęt ewakuacyjny. Bez odpowiedniego szkolenia i sprzętu pomocniczego może on trwać kilka minut zamiast kilkudziesięciu sekund. Jest to aspekt, na który zwracać szczególną uwagę w zarządzaniu ewakuacją, gdyż ma duży wpływ na jej szybkość i skuteczność.

Pytanie 2. Jakie czynniki jakościowe sprzętu ewakuacyjnego wpływają na poziom bezpieczeństwa, komfort użytkownika?

Na poziom bezpieczeństwa i komfort użytkownika wpływają poniższe czynniki jakościowe:

- funkcjonalność ewakuacyjna
- dopuszczalne obciążenie dynamiczne
- wytrzymałość statyczna
- maksymalny zasięg zjazdu
- zasięg zjazdu krzesła z napędem elektrycznym w systemie mieszanym

Nowe czynniki jakościowe posiadają tę przewagę względem dotychczas używanych, że każdy z nich został poddany walidacji względem realnego, niejednokrotnie długofalowego używania. Pozwala to na wykrycie potencjalnych wad, nieprawidłowości, które mogłyby spowodować utratę zakładanych właściwości technicznych krzesła ewakuacyjnego oraz jego podzespołów, co mogłoby skutkować obniżeniem jego bezpieczeństwa użytkowania.

Komfort użytkownika tj. osoby ewakuowanej oraz operatora krzesła ewakuacyjnego należy rozumieć szerzej również kontekście zapewnienia możliwości takiego używania sprzętu, aby czynność ta kojarzyła się pozytywnie. Osoba ewakuowana zdana jest na pomoc innych i ważnym jest, aby w przypadku konieczności ewakuacji, uratowania jej, co jest same w sobie procesem stresującym, nie powodować dodatkowego stresu. Można to spowodować przez dotykanie bezpośrednio rękami przez operatora jej ciała podczas transferu na inny sprzęt czy posadowienie na nieodpowiednim sprzęcie ewakuacyjnym np. gdy osoba powinna być ewakuowana w pozycji leżącej a jest transferowana na krzesło ewakuacyjne lub odwrotnie tzn. gdy jest transferowana na materac ewakuacyjny a powinna być ewakuowana na krzesło ewakuacyjne. Z pozoru wydają się to być rzeczy małoistotne czy nawet drugorzędne, gdyż celem nadrzędnym jest uratowanie życia człowieka. Niemniej jednak, gdy tylko to możliwe zachowanie powyższych zasad spowoduje uniknięcie u części osób ze szczególnymi potrzebami, długotrwałych po zakończeniu ewakuacji komplikacji, powikłań czy to natury psychicznej czy fizycznej.

Pytanie 3. Jakie są rzeczywiste koszty wdrożenia systemu ewakuacji wspomaganej w budynkach użyteczności publicznej z uwzględnieniem zakupu, rozmieszczenia i cyklu życia sprzętu?

Wdrożenie ewakuacji wspomaganej jako elementu zarządzania obiektem generuje koszty związane z zakupem i utrzymaniem tego sprzętu w pełnej sprawności oraz funkcjonalności na co składa się:

- a) Zakup sprzętu ewakuacyjnego i pomocniczego – poniżej wskazano przybliżone koszty jednostkowe w odniesieniu do rynku polskiego:
 - krzesło ewakuacyjne: 3,5 – 7,0 tys. zł netto,
 - materac ewakuacyjny: 2,0 – 4,0 tys. zł netto,
 - noszak transferowy: 0,5 – 1,0 tys. zł netto,
 - nosze płachtowe: 0,5 – 1,0 tys. zł netto.
- b) Szkolenie operatorów sprzętu:
 - ok 3,5 tys. zł rocznie za jedną grupę do 6 osób.
- c) Koszt utrzymania krzesła ewakuacyjnego w pełnej sprawności technicznej i funkcjonalnej w cyklu życia produktu: 300 - 400 zł netto za 1 szt. rocznie.
- d) Koszt utrzymania materaca ewakuacyjnego i sprzętu pomocniczego w pełnej sprawności technicznej i funkcjonalnej w cyklu życia produktu: 100 - 200 zł netto za 1 szt. rocznie.
- e) Koszt napraw nie objętych gwarancją – normatywne zużycie sprzętu np. wymiana pasa jezdnego: 0,3 – 1,0 tys. zł za 1 szt. sprzętu raz 100 – 500 przejechanych kondygnacji w dół po schodach (w zależności od rodzaju sprzętu, producenta).
- f) Koszt uszkodzenia obiektu lub sprzętu ewakuacyjnego w wyniku nieprawidłowego jego używania lub nieodpowiedniego doboru do infrastruktury obiektu (koszt uzależniony jednostkowo od zakresu szkód).

Przedstawione koszty wdrożenia ewakuacji wspomaganej w obiekcie wskazują, że należy oprócz kosztów zakupu uwzględnić koszty wdrożenia sprzętu do użytkowania poprzez szkolenie osób, które będą go używały. Należy także uwzględnić koszty

cyklicznych przeglądów i napraw a na ich wysokość będzie miał bezpośredni wpływ wybór produktu jaki zostanie zakupiony (m. in. jego trwałość czy bezawaryjność). Nieodpowiednie używanie sprzętu ewakuacyjnego w pewnych sytuacjach może doprowadzić do uszkodzeń budynku czy produktu i należy podczas szkoleń zwracać na to uwagę.

5.4 Kierunki dalszych badań

Opracowana metodyka badawcza oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych otwiera liczne możliwości doskonalenie krzeseł ewakuacyjnych, ale również innego sprzętu ewakuacyjnego. Dalsze badania powinny koncentrować się na rozwijaniu tych obszarów, które mają największe znaczenie dla czynnika funkcjonalności ewakuacyjnej (transfer na sprzęt ewakuacyjny), trwałości produktu i łatwości jego używania, co może przynieść wymierne korzyści zarówno dla użytkownika tego sprzętu jak i zarządcy obiektu.

Kluczowe kierunki dalszych badań mogą obejmować:

- A. Przeprowadzenie testów rzeczywistych i symulacji w szczególności w zakresie transferu osoby ewakuowanej na sprzęt ewakuacyjny w zależności od jej sprawności oraz ilości osób wspierających ewakuację wspomaganą. Będzie to miało duży wpływ na całkowity czas ewakuacji (od kilkudziesięciu sekund nawet do kilku minut) w przypadku, gdy (1) osoba ewakuowana nie będzie współpracowała z operatorem / ratownikiem a będzie dostępne tylko jedno z rozwiązań tj. albo krzesło ewakuacyjne, albo materac ewakuacyjny; (2) będzie dostępny tylko jeden operator bez pomocy drugiej osoby do transferu. Wskazywane zmienne powodują kilka konfiguracji ludzko - sprzętowej jakie można przeprowadzić w celu bardziej precyzyjnego określenia wpływu tych czynników na czas transferu osoby na sprzęt ewakuacyjny.
- B. Badanie trwałości układu jezdnego w odniesieniu do różnego rodzaju podłoża (np. stalowego, drewnianego) z poszukiwaniem innego rodzaju napędu lub jego elementów, które mogą wpłynąć na ulepszenie obecnych rozwiązań.
- C. Badania zmierzające w kierunku uproszczenia konstrukcji czy zastąpienia obecnych elementów w taki sposób, aby użytkowanie krzesła ewakuacyjnego było jeszcze

prostsze i ograniczało do minimum możliwość popełnienia błędów podczas jego użycia. Jest to aspekt, który wielokrotnie pojawia się ze strony użytkowników.

- D. Wykorzystanie opracowanej metodyki dla krzeseł ewakuacyjnych do innego sprzętu ewakuacyjnego w celu sprawdzenia ich jakości i ulepszenia, rozwoju.

6 Bibliografia

1. Adams, A.P.M. i Galea, E. „Ed” R. (2011) „An Experimental Evaluation of Movement Devices Used to Assist People with Reduced Mobility in High-Rise Building Evacuations”, w R.D. Peacock, E.D. Kuligowski, i J.D. Averill (red.) *Pedestrian and Evacuation Dynamics*. Boston, MA: Springer US, s. 129–138. Dostępne na: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9725-8_12.
2. Averill, J.D. i in. (2005) *Federal building and fire safety investigation of the World Trade Center disaster: occupant behavior, egress, and emergency communications*. NIST NCSTAR 1-7. Gaithersburg, MA, USA: National Institute of Standards and Technology (NIST), s. 298. Dostępne na: www.nist.gov/publications/occupant-behavior-egress-and-emergency-communication-federal-building-and-fire-safety-0.
3. BABS (2024) *Handbuch Der Zivilschutz Grundlagen – Auftrag – Einsatz*. Laupen, Switzerland: Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS). Dostępne na: <https://www.babs.admin.ch/de/unterlagen-ausbildung>.
4. Baltes, P.B. (1987) „Theoretical propositions of life-span developmental psychology: On the dynamics between growth and decline.”, *Developmental Psychology*, 23(5), s. 611–626. Dostępne na: <https://doi.org/10.1037/0012-1649.23.5.611>.
5. Barbera, J.A., Yeatts, D.J. i Macintyre, A.G. (2009) „Challenge of hospital emergency preparedness: analysis and recommendations”, *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 3(2 Suppl), s. S74-82. Dostępne na: <https://doi.org/10.1097/DMP.0b013e31819f754c>.
6. Batavia, A.I. i Hammer, G.S. (1990) „Toward the development of consumer-based criteria for the evaluation of assistive devices”, *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 27(4), s. 425. Dostępne na: <https://doi.org/10.1682/JRRD.1990.10.0425>.
7. Bergman, B. (1994) *Quality from customer needs to customer satisfaction*. 1. wyd. London, UK: McGraw-Hill Book Co. Dostępne na: <https://lccn.loc.gov/94007346>.
8. Besterfield, D.H. (2009) *Quality control*. 8. wyd. Upper Saddle River, N.J, USA: Pearson/Prentice Hall. Dostępne na: <https://lccn.loc.gov/2008006936>.
9. Bicheno, J. i Holweg, M. (2016) *The lean toolbox: a handbook for lean transformation*. 5. wyd. Buckingham, United Kingdom: PICSIE Books (Production and Inventory Control, Systems and Industrial Engineering).
10. Booher, H.R. (red.) (2003) *Handbook of human systems integration*. Hoboken, N.J: Wiley-Interscience (Wiley series in systems engineering and management). Dostępne na: <https://doi.org/10.1002/0471721174>.

11. Borkowski, S. (2005) *Zarządzanie jakością wyrobów i usług*. Warszawa: Wydawnictwo Menedżerskie PTM. Dostępne na: https://katalogi.bn.org.pl/permalink/48OMNIS_NLOP/1aot9i7/alma9912883529205606.
12. Bowie, W.R. i Sampson, G.B. (1979) „Transport device for invalids”. Alexandria, VA, USA. Dostępne na: [https://patents.google.com/patent/US4136888A/en?q=\(\"evacuation+chair\"\)&q=\"evacuation+chair\"](https://patents.google.com/patent/US4136888A/en?q=(\) (Dostęp: 21 styczeń 2023).
13. Boyce, K. (2017) „Safe evacuation for all - Fact or Fantasy? Past experiences, current understanding and future challenges”, *Fire Safety Journal*, 91, s. 28–40. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.004>.
14. Boyce, M.W. i in. (2017) „Design of instructions for evacuating disabled adults”, *Applied Ergonomics*, 58, s. 48–58. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.05.010>.
15. Boyce, M.W. i Smither, J.A. (2012) „Emergency evacuation of individuals with disabilities using human systems integration”, w *4th Annual Applied Human Factors and Ergonomics Meeting 2012*. San Francisco, CA, USA.
16. Branowski, B., Zabłocki, M. i Pohl, P. (2011) „Wybrane zagadnienia koncepcyjne i konstrukcyjne budowy urządzeń do ewakuacji osób niepełnosprawnych z wysokich budynków”, w *Ergonomia Niepełnosprawnym- współczesne i przyszłe kierunki rozwoju*. Łódź: Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, s. 49–70. Dostępne na: https://www.researchgate.net/profile/Aleksandra-Polak-Sopinska/publication/324107358_Ergonomia_niepelnosprawnym_Wspolczesne_i_przyszle_kierunki_rozwoju/links/5abe1056a6fdccda658a57b/Ergonomia-niepelnosprawnym-Wspolczesne-i-przyszle-kierunki-rozwoju.pdf#page=50.
17. Bukowski, R.W. (2016) *Egress concepts and design approaches, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition*. New York, NY, USA: Springer. Dostępne na: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0_56.
18. Bukvic, O. i in. (2021) „A review on the role of functional limitations on evacuation performance using the International Classification of Functioning, Disability and Health”, *Fire Technology*, 57(2), s. 507–528. Dostępne na: <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01034-5>.
19. Butler, K. i in. (2017) „Perspectives of occupants with mobility impairments on evacuation methods for use during fire emergencies”, *Fire Safety Journal*, 91, s. 955–963. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.04.025>.
20. Cafazzo, J.A. i in. (2012) „Design of an mHealth App for the Self-management of Adolescent Type 1 Diabetes: A Pilot Study”, *Journal of Medical Internet Research*, 14(3), s. e70. Dostępne na: <https://doi.org/10.2196/jmir.2058>.

21. Charness, N. (1985) „Aging and problem-solving performance”, w Neil Charness (red.) *Aging and human performance*. Chichester, UK: Wiley (Wiley series on studies in human performance), s. 225–259.
22. *Children and armed conflict* (2024). A/78/842-S/2024/384. New York, NY, USA: United Nations, s. 49. Dostępne na: <https://docs.un.org/S/2024/384>.
23. Christensen, K.M., Blair, M.E. i Holt, J.M. (2007) „The Built Environment, Evacuations, and Individuals With Disabilities: A Guiding Framework for Disaster Policy and Preparation”, *Journal of Disability Policy Studies*, 17(4), s. 249–254. Dostępne na: <https://doi.org/10.1177/10442073070170040801>.
24. Connell, B.R. i in. (1997) *The Principles of Universal Design*. Version 2.0-4/1/97. Raleigh, NC, USA: The Center for Universal Design (CUD), North Carolina State University. Dostępne na: https://projects.ncsu.edu/ncsu/design/cud/about_ud/udprinciplestext.htm.
25. Cote, A.E. (red.) (1997) *Fire protection handbook*. 18. wyd. Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association.
26. Creswell, J.W. i Plano Clark, V.L. (2018) *Designing and conducting mixed methods research*. Third edition. Los Angeles [California]: SAGE.
27. Cronin, J.J. i Taylor, S.A. (1992) „Measuring Service Quality: A Reexamination and Extension”, *Journal of Marketing*, 56(3), s. 55–68. Dostępne na: <https://doi.org/10.1177/002224299205600304>.
28. Crosby, P.B. (1979) *Quality is free: the art of making quality certain*. New York: McGraw-Hill. Dostępne na: <https://lccn.loc.gov/78006804>.
29. Davis, E. (2004) „Emergency evacuation: Safe egress of persons with disabilities from transit systems”. Washington, DC, USA: National Organization on Disability and Easter Seals Project ACTION.
30. Deming, W.E. (2013) *The essential Deming: leadership principles from the father of total quality management*. New York, NY, USA: McGraw-Hill.
31. Deming, W.E. (2018) *Out of the Crisis*. Cambridge, MA, USA: The MIT Press. Dostępne na: <https://doi.org/10.7551/mitpress/11457.001.0001>.
32. Departament Europejskiego Funduszu Społecznego (2018) *Program rządowy Dostępność Plus 2018-2025*. Warszawa: Ministerstwo Inwestycji i Rozwoju, s. 70. Dostępne na: www.funduszeuropejskie.gov.pl/media/97063/Program_Dostepnosc_Plus.pdf.
33. *Disability Impacts All of Us Infographic* (2024). Atlanta, GA, USA: National Center on Birth Defects and Developmental Disabilities (NCBDDD). Dostępne na: <https://www.cdc.gov/ncbddd/index.html>.

34. Drucker, P.F. (1974) *Management: Tasks, Responsibilities, Practices*. 1. wyd. New York, NY, USA: Harper & Row. Dostępne na: <https://lccn.loc.gov/72079655>.
35. Dziuba, M. i in. (2015) *Stan infrastruktury budowlanej i zabezpieczeniowej w Muzeach*. Raport. Warszawa: Narodowy Instytut Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów. Dostępne na: https://nim.gov.pl/files/publications/8/Stan_infrastruktury_budowlanej.pdf.
36. Dz.U. 2012 poz. 1169 (2006) *United Nations. Convention on the Rights of Persons with Disabilities, A/61/611*. Dostępne na: www.un.org/esa/socdev/enable/rights/convtexte.htm (Dostęp: 12 grudzień 2023).
37. Dz.U. 2024 poz. 1411 (2024) „Ustawa z dnia 19 lipca 2019 r. o zapewnieniu dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami”. Warszawa: Kancelaria Sejmu. Dostępne na: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20190001696> (Dostęp: 23 sierpień 2025).
38. Dz.U. 2024 poz. 1907 (2024) *Ustawa z dnia 5 grudnia 2024 r. o ochronie ludności i obronie cywilnej*. Dostępne na: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20240001907>.
39. Dz.U. 2025 poz. 188 (1991) „Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej”. Warszawa: Kancelaria Sejmu. Dostępne na: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19910810351> (Dostęp: 23 sierpień 2025).
40. Dz.U. 2025 poz. 765 (2025) *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 maja 2025 r. w sprawie ewakuacji ludności oraz zabezpieczenia mienia*. Dostępne na: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20250000765>.
41. *Emergency Evacuation Planning Guide for People with Disabilities* (2022). Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association (NFPA), s. 16. Dostępne na: www.nfpa.org/downloadable-resources/guides/evacuation-guide-pdf.
42. „Ensafe evacuation chairs” (2025) *Ensafe.One sp. z o.o., Zabierzów*. Dostępne na: <https://ensafe-chair.com/products/>.
43. *EnSafe.One FALCON evacuation chair* (2024). User Manual FALCON IOR.1.0. Zabierzów, Poland: Ensafe one, s. 16.
44. *EnSafe.One ROBIN 2.0 evacuation chair* (2024). User Manual ROBIN 2.0 IOR.1.0. Zabierzów, Poland: Ensafe one, s. 16.
45. *ESCAPE-CHAIR* (2015). User Manual. Heerlen, Nederland: Escape Mobility International BV, s. 20. Dostępne na: https://escape-mobility.com/wp-content/uploads/2023/09/handleiding-Chairs_2023.pdf.

46. European Commission (2021) *Union of equality: strategy for the rights of persons with disabilities 2021-2030*. Luxembourg: Publications Office of the European Union (doi:10.2767/31633). Dostępne na: <https://doi.org/10.2767/31633>.
47. European Foundation for Quality Management (2013) „EFQM Excellence Model”. European Foundation for Quality Management. Dostępne na: <https://efqm.org/the-efqm-model/>.
48. Europejski akt w sprawie dostępności (2019) *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/882 z dnia 17 kwietnia 2019 r. w sprawie wymogów dostępności produktów i usług, PE/81/2018/REV/1*. Dostępne na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32019L0882#d1e32-112-1>.
49. Eurostat (2024) „Overweight and obesity - BMI statistics”. European Commission. Dostępne na: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Overweight_and_obesity_-_BMI_statistics.
50. *EVAC+CHAIR* (2025). 110H. Solihull, England: Evac+Chair International Limited. Dostępne na: https://www.evacchair.co.uk/shop/product/110?srsId=AfmBOormDIIT04vFN8a1QE0xwqjJhWW_HK55Z8q-xCBTQQ3DSEbUhhcm.
51. *EVAC+CHAIR 600H* (2024). User Manual. Lake Success, NY. USA: Evac+Chair North America, s. 12. Dostępne na: <https://evac-chair.com/wp-content/uploads/EvacChair-600H-User-Guide-A5-SP.pdf>.
52. „Evacuation chair” (1985) *Rehabilitation Nursing*, 10(2), s. 40–43. Dostępne na: <https://doi.org/10.1002/j.2048-7940.1985.tb00417.x>.
53. *Evacuation of people with disabilities* (2024). CFPA-E Guideline No 33:2024 F. Zurich, Switzerland: CFPA Europe, s. 23. Dostępne na: <https://cfpa-e.eu/category-guidelines/fire-prevention-and-protection/>.
54. Evans, J.R. (2024) *Managing for quality and performance*. 12. wyd. Boston, MA, USA: Cengage Learning. Dostępne na: <https://lccn.loc.gov/2024930278>.
55. Feigenbaum, A.V. (1991) *Total quality control*. 3. wyd. New York: McGraw-Hill.
56. Feliciani, C. i in. (2020) „Efficiently informing crowds – Experiments and simulations on route choice and decision making in pedestrian crowds with wheelchair users”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 114, s. 484–503. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.02.019>.
57. FEMA (2006) *Safe Rooms and Shelters*. FEMA 453. Washington, D.C., USA: Federal Emergency Management Agency, s. 24. Dostępne na: www.ready.gov/sites/default/files/2020-04/safe-rooms-table-of-contents.pdf.

58. *Fire safety engineering concerning evacuation from buildings* (2023). CFPA-E Guideline No 19:2023 F. Copenhagen, Denmark: Confederation of Fire Protection Associations Europe, s. 43. Dostępne na: https://cfpa-e.eu/app/uploads/2022/05/CFPA_E_Guideline_No_19_2023-F.pdf.
59. Fitzgerald, M.H. i Paterson, K.A. (1995) „The hidden disability dilemma for the preservation of self”, *Journal of Occupational Science*, 2(1), s. 13–21. Dostępne na: <https://doi.org/10.1080/14427591.1995.9686392>.
60. Flynn, B.B., Schroeder, R.G. i Sakakibara, S. (1995) „The Impact of Quality Management Practices on Performance and Competitive Advantage”, *Decision Sciences*, 26(5), s. 659–691. Dostępne na: <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1995.tb01445.x>.
61. Fox, M.H. i in. (2007) „Disaster Preparedness and Response for Persons With Mobility Impairments: Results From the University of Kansas Nobody Left Behind Study”, *Journal of Disability Policy Studies*, 17(4), s. 196–205. Dostępne na: <https://doi.org/10.1177/10442073070170040201>.
62. Fruin, J.J. (1971) *Pedestrian Planning and Design*. Ann Arbor, MI, USA: Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners. Dostępne na: <https://books.google.pl/books?id=AydSAAAAMAAJ>.
63. Fujiyama, T. i Tyler, N. (2004) „An explicit study on walking speeds of pedestrians on stairs”, w *Proceedings of the 10th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled People. 10th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled People, Hamamatsu, Japan, May 23–26, 2004*, Hamamatsu, Japan: Hamamatsu University School of Medicine, s. 250–259.
64. *Functional and activity limitations statistics* (2023). Luxembourg, Belgium: Eurostat, s. 22. Dostępne na: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/37774.pdf> (Dostęp: 20 wrzesień 2025).
65. Garcia-Mandico, S., Prinz, C. i Thewissen, S. (2022) *Disability, Work and Inclusion: Mainstreaming in All Policies and Practices*. ISBN 978-92-64-94147-2. Paris, France: OECD Publishing. Dostępne na: <https://doi.org/10.1787/1eaa5e9c-en>.
66. Garvin, D.A. (1984a) „Product quality: An important strategic weapon”, *Business Horizons*, 27(3), s. 40–43. Dostępne na: [https://doi.org/10.1016/0007-6813\(84\)90024-7](https://doi.org/10.1016/0007-6813(84)90024-7).
67. Garvin, D.A. (1984b) „What Does “Product Quality” Really Mean?”, *Sloan management review*, 25, s. 25–43. Dostępne na: http://oqrm.org/English/What_does_product_quality_really_means.pdf.
68. Garvin, D.A. (1987) „Competing on the eight dimensions of quality”, *Harvard Business Review*, 87, s. 101–109. Dostępne na: <https://hbr.org/1987/11/competing-on-the-eight-dimensions-of-quality>.

69. Garvin David A. (1988) *Managing Quality: The Strategic and Competitive Edge*. New York, NY, USA: The Free Press.
70. *Globalny raport w na temat równości w zdrowiu osób z niepełnosprawnościami: streszczenie* (2024). Publications WHO/EURO:2024-6611-46377-69636. Kopenhaga: Światowa Organizacja Zdrowia, s. 10. Dostępne na: <https://iris.who.int/handle/10665/376482>.
71. Grobelny, J. i Michalski, R. (2017) „Zastosowanie modeli Markowa z ukrytymi stanami do analizy aktywności wzrokowej w procesie oceny wirtualnych opakowań techniką porównywania parami”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, 71, s. 111–125. Dostępne na: <https://doi.org/10.21008/J.0239-9415.2017.073.08>.
72. Gudaszewski, G. i in. (red.) (2023) *Narodowy spis powszechny ludności i mieszkań 2021: ludność: stan i struktura demograficzno-społeczna w świetle wyników NSP 2021 = National population and housing census 2021: population: size and demographic-social structure in the light of the 2021 census results*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny (Spisy Powszechne = Censuses / GUS). Dostępne na: <https://stat.gov.pl/spisy-powszechne/nsp-2021/nsp-2021-wyniki-ostateczne/stan-i-struktura-demograficzno-spoeczna-i-ekonomiczna-ludnosci-polski-w-swietle-wynikow-nsp-2021,6,2.html#>.
73. Guylène, P. i Joelle, P. (1996) *Review of Evacuation Strategies for Occupants with Disabilities*. IRC-IR-712. Ottawa, Canada: National Fire Laboratory Institute for Research in Construction National Research Council Canada. Dostępne na: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=de2066972abf524cd20f97a97cb61be9e30a8ada>.
74. Hale, N.E. i Kenneth, G. (1966) „Vehicles for invalids for travel over horizontal and inclined surfaces”. Alexandria, VA. Dostępne na: <https://patents.google.com/patent/US3276531A/en?q=track&q=primary&q=wheels&q=vehicle&q=undercarriage&before=priority:19620424&scholar> (Dostęp: 21 styczeń 2023).
75. Hamid, A., Wahyudiono, Y.D.A. i Soewandi, T. (2018) „The Effectiveness of Vertical Transportation (Emergency Stairs and Ramp) as a Means of Egress for Safety of the Intensive Care Unit Patients in the Emergency Condition”, *Indian Journal of Public Health Research & Development*, 9(2), s. 65. Dostępne na: <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2018.00093.1>.
76. Hammer, M. i Champy, J. (1993) *Reengineering the corporation: a manifesto for business revolution*. 1. wyd. New York, NY, USA: HarperBusiness.
77. Hamrol, A. (2013) *Zarządzanie jakością z przykładami*. 2. wyd. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.

78. Hamrol, A. i Mantura, W. (2015) *Zarządzanie jakością: teoria i praktyka / Quality management: theory and practice*. 3. wyd. Poznań: Wydawnictwo Naukowe PWN.
79. Hansen, A.C. i in. (2025) „Civilian Sheltering Guidelines for Explosive Weapons in Populated Areas: A Scoping Review”, *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 19, s. e114. Dostępne na: <https://doi.org/10.1017/dmp.2025.117>.
80. Harrington, H.J. (1991) *Business process improvement: the breakthrough strategy for total quality, productivity, and competitiveness*. New York, NY, USA: McGraw-Hill. Dostępne na: <https://lccn.loc.gov/90028544>.
81. Hashemi, M. (2018) „Emergency evacuation of people with disabilities: A survey of drills, simulations, and accessibility”, *Cogent Engineering*. Zredagowane przez S. Tomasiello, 5(1), s. 1506304. Dostępne na: <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1506304>.
82. Hedman, G.E. (2011) „Travel Along Stairs by Individuals with Disabilities: A Summary of Devices Used During Routine Travel and Travel During Emergencies”, w R.D. Peacock, E.D. Kuligowski, i J.D. Averill (red.) *Pedestrian and Evacuation Dynamics*. Boston, MA: Springer US, s. 109–119. Dostępne na: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9725-8_10.
83. Hedman, G.E. i in. (2021) „Consumer opinion of stair descent devices used during emergency evacuation from high-rise buildings”, *Assistive Technology*, 33(5), s. 278–287. Dostępne na: <https://doi.org/10.1080/10400435.2019.1634656>.
84. Hersh, M.A. (2011) „The Design and Evaluation of Assistive Technology Products and Devices Part 3: Outcomes of Assistive Product Use”, w *International Encyclopedia of Rehabilitation*. University at Buffalo: Center for International Rehabilitation Research Information and Exchange (CIRRIE). Dostępne na: <http://cirrie.buffalo.edu/encyclopedia/en/article/312/>.
85. Hertzog, C. (1989) „Influences of cognitive slowing on age differences in intelligence.”, *Developmental Psychology*, 25(4), s. 636–651. Dostępne na: <https://doi.org/10.1037/0012-1649.25.4.636>.
86. Hitka, M., Gejdoš, M. i Sydor, M. (2024) „Dataset on anthropometric measurements of the adult population in Slovakia”, *Data in Brief*, 55, s. 110536. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110536>.
87. Hostetter, H. i Naser, M.Z. (2022) „Characterizing disability in fire evacuation: A progressive review”, *Journal of Building Engineering*, 53, s. 104573. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104573>.
88. Hoyle, D. (2001) *ISO 9000 Quality Systems Handbook*. 4. wyd. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann / Elsevier. Dostępne na: <https://pqm-online.com/assets/files/lib/books/holye2.pdf>.

89. Hunt, A., Galea, E.R. i Lawrence, P.J. (2015) „An analysis and numerical simulation of the performance of trained hospital staff using movement assist devices to evacuate people with reduced mobility”, *Fire and Materials*, 39(4), s. 407–429. Dostępne na: <https://doi.org/10.1002/fam.2215>.
90. Hunt, A.L.E. (2016) *Simulating Hospital Evacuation*. Ph.D. thesis. University of Greenwich. Dostępne na: https://files.thunderheadeng.com/femtc/2016_d3-01-hunt-paper.pdf.
91. Hunt, A.L.E. i in. (2020) „Simulating Movement Devices Used in Hospital Evacuation”, *Fire Technology*, 56(5), s. 2209–2240. Dostępne na: <https://doi.org/10.1007/s10694-020-00971-5>.
92. Hurley, M.J. i in. (red.) (2016) *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 5. wyd. New York, NY: Springer New York: Imprint: Springer. Dostępne na: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>.
93. Ishikawa, K. (1985) *What is total quality control? The Japanese way*. Przetłumaczone przez D.J. Lu. Englewood Cliffs, N.J, USA: Prentice-Hall. Dostępne na: <https://lcn.loc.gov/84026265>.
94. Juran, J.M. (1951) *Quality control handbook*. 1. wyd. New York, NY, USA: McGraw-Hill (Industrial organization and management series). Dostępne na: <https://lcn.loc.gov/51007119>.
95. Juran, J.M. (1992) *Juran on quality by design: the new steps for planning quality into goods and services*. New York : Toronto : New York: Free Press ; Maxwell Macmillan Canada ; Maxwell Macmillan International.
96. Juran, J.M. i Godfrey, A.B. (red.) (1999a) *Juran's quality handbook*. 5. wyd. New York, NY, USA: McGraw Hill. Dostępne na: <https://lcn.loc.gov/98043311>.
97. Juran, J.M. i Godfrey, A.B. (1999b) *The quality control process*. New York, NY, USA: McGraw-Hill.
98. Kaplan, R.S. i Norton, D.P. (2005) „The balanced scorecard: measures that drive performance”, *Harvard Business Review*, 70. Dostępne na: <https://hbr.org/1992/01/the-balanced-scorecard-measures-that-drive-performance-2>.
99. Karwowski, W. (red.) (2005) *Handbook of Standards and Guidelines in Ergonomics and Human Factors*. 1. wyd. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press. Dostępne na: <https://doi.org/10.1201/9781482289671>.
100. Kendall, M.G. (1990) *Rank correlation methods*. 5. wyd. New York, NY, USA: Oxford University Press. Dostępne na: <https://lcn.loc.gov/90052649>.
101. Khvorost, M. i Danova, K. (2020) „Assessment of the Evacuation Capacity of a Crowd, Including People with Disabilities”, *NATO Science for Peace and Security*

- Series C: Environmental Security*, s. 183–194. Dostępne na: https://doi.org/10.1007/978-94-024-1755-5_15.
102. Kolman, R. (1992) *Inżynieria jakości*. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne. Dostępne na: https://katalogi.bn.org.pl/permalink/48OMNIS_NLOP/1aot9i7/alma991001412649705066.
103. Koo, J. i in. (2013) „A comparative study of evacuation strategies for people with disabilities in high-rise building evacuation”, *Expert Systems with Applications*, 40(2), s. 408–417. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.07.017>.
104. Kowal, M. (red.) (2023) *Діяльність підрозділів ДСНС України в умовах воєнного стану: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції / Działania jednostek SES Ukrainy w warunkach stanu wojennego*. Львів, Україна / Lwów, Ukraina: Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності / Państwowa Służba Ratunkowa Ukrainy, Lwowski Państwowy Uniwersytet Bezpieczeństwa Życia, Narodowy Uniwersytet Obrony Cywilnej Ukrainy, Czerkaski Instytut Bezpieczeństwa Pożarowego im. Bohaterów Czarnobyla Narodowy Uniwersytet Obrony Cywilnej Ukrainy, Instytut Administracji Publicznej i Badań Naukowych w Zakresie Obrony Cywilnej. Dostępne na: <https://dsns.gov.ua/upload/1/9/2/4/3/5/9/diyi-dsns-objednana-kniga-compressed.pdf>.
105. Kratchman, J.A. (2007) *An Investigation on the Effects of Firefighter Counterflow and Human Behavior in a Six-Story Building Evacuation*. Master of Science Thesis. University of Maryland. Dostępne na: <http://hdl.handle.net/1903/6709>.
106. Kroslid, D. (1999) *In Search of Quality Management-Rethinking and Reinterpreting*. Linköping, Sweden: Linkopings Universitet.
107. Kuligowski, E. i in. (2013) „Stair evacuation of older adults and people with mobility impairments”, *Fire Safety Journal*, 62, s. 230–237. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.09.027>.
108. Kuligowski, E. i in. (2015a) „Stair evacuation of people with mobility impairments”, *Fire and Materials*, 39(4), s. 371–384. Dostępne na: <https://doi.org/10.1002/fam.2247>.
109. Kuligowski, E. i in. (2015b) „Stair evacuation of people with mobility impairments”, *Fire and Materials*, 39(4), s. 371–384. Dostępne na: <https://doi.org/10.1002/fam.2247>.
110. Kwee-Meier, S. i in. (2016) „Assessment of Health Risks for Rescue Workers in Evacuations During Person Transportation with Rescue Devices in Corridors and Stairways”, w P. Arezes (red.) *Advances in Safety Management and Human Factors*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing (Advances in

- Intelligent Systems and Computing), s. 343–355. Dostępne na: https://doi.org/10.1007/978-3-319-41929-9_32.
111. Latif, S. i in. (2025) „Cases of trauma due to war and violence among children in Gaza”, *Eastern Mediterranean Health Journal*, 31(4), s. 210–215. Dostępne na: <https://doi.org/10.26719/2025.31.4.210>.
 112. Lavender, S.A. i in. (2012) „Ergonomic evaluation of track-type stair descent devices used for the evacuation of high rise buildings”, w *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, s. 1211–1212. Dostępne na: <https://doi.org/10.1177/1071181312561263>.
 113. Lavender, S.A. i in. (2013) „An Ergonomic Evaluation of Hand-Carried, Track-Type, and Sled-Type Stair Descent Devices Used for High Rise Building Evacuation”, w *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, s. 976–980. Dostępne na: <https://doi.org/10.1177/1541931213571218>.
 114. Lavender, S.A. i in. (2014) „Evaluating the physical demands on firefighters using hand-carried stair descent devices to evacuate mobility-limited occupants from high-rise buildings”, *Applied Ergonomics*, 45(3), s. 389–397. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.05.005>.
 115. Lavender, S.A., Mehta, Jigna P., i in. (2015) „Evaluating the physical demands when using sled-type stair descent devices to evacuate mobility-limited occupants from high-rise buildings”, *Applied Ergonomics*, 50, s. 87–97. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.02.008>.
 116. Lavender, S.A., Mehta, Jay P., i in. (2015) „Evaluating the physical demands when using sled-type stair descent devices to evacuate mobility-limited occupants from high-rise buildings”, *Applied Ergonomics*, 50, s. 87–97. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.02.008>.
 117. Lawson, W.J. (2003) *Enhancing assistive technologies: Through the theoretical adaptation of biometric technologies to people of variable abilities*. PhD Thesis. Kennedy-Western University.
 118. Leśniak, K. (1965) *Arystoteles*. Warszawa: Wydawnictwo „Wiedza Powszechna” (Myśli i Ludzie. 1, Filozofia Starożytna i Średniowieczna).
 119. Løvås, G.G. (1998) „On the importance of building evacuation system components”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 45(2), s. 181–191. Dostępne na: <https://doi.org/10.1109/17.669766>.
 120. Lyu, Y. i Wang, H. (2025a) „Fire Evacuation for People with Functional Disabilities in High-Rise Buildings: A Scoping Review”, *Buildings*, 15(4), s. 634. Dostępne na: <https://doi.org/10.3390/buildings15040634>.

121. Lyu, Y. i Wang, H. (2025b) „Fire Evacuation for People with Functional Disabilities in High-Rise Buildings: A Scoping Review”, *Buildings*, 15(4), s. 634. Dostępne na: <https://doi.org/10.3390/buildings15040634>.
122. Mahajan, V., Linstone, H.A. i Turoff, M. (1976) „The Delphi Method: Techniques and Applications”, *Journal of Marketing Research*, 13(3), s. 317. Dostępne na: <https://doi.org/10.2307/3150755>.
123. McClure, L.A. i in. (2011) „Emergency Evacuation Readiness of Full-Time Wheelchair Users With Spinal Cord Injury”, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 92(3), s. 491–498. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2010.08.030>.
124. „Medical devices — Application of risk management to medical devices. Geneva, Switzerland” (2019). Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization. Dostępne na: www.iso.org/standard/72704.html.
125. „Medical devices -- Quality management systems -- Requirements for regulatory purposes. Geneva, Switzerland” (2016). Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization. Dostępne na: www.iso.org/standard/59752.html.
126. Mehta, J.P. i in. (2015) „Evaluating the physical demands on firefighters using track-type stair descent devices to evacuate mobility-limited occupants from high-rise buildings”, *Applied Ergonomics*, 46, s. 96–106. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.07.009>.
127. Migas, A., Butlewski, M. i Sydor, M. (2023) „Evacuation chairs: a survey to assess the state of the art and desirable features from the perspective of decision makers”, *Zeszyty Naukowe SGSP*, (87), s. 7–18. Dostępne na: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.8565>.
128. Migas, A., Sydor, M. i Butlewski, M. (2024) „Infrastructural determinants in ergonomic evacuation of individuals with special needs”, w J. Zawila-Niedźwiecki i A. Płaczek (red.) *Szkoła Logistyki 2024*. Radom: Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium” (Nauki ekonomiczne), s. 133–144. Dostępne na: e-ISBN 978-83-68026-08-5.
129. Monitor Polski 2025 poz. 541 (2025) *Uchwała nr 72 Rady Ministrów z dnia 27 maja 2025 r. w sprawie zatwierdzenia Programu Ochrony Ludności i Obrony Cywilnej na lata 2025-2026*. Dostępne na: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WMP20250000541>.
130. Montgomery, D.C. (2020) *Introduction to statistical quality control*. 8. wyd. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. Dostępne na: <https://lccn.loc.gov/2019017327>.
131. Mroczko, F. (2012) *Zarządzanie jakością*. Wyd. specjalne. Wałbrzych: Wałbrzyska Wyższa Szkoła Zarządzania i Przedsiębiorczości. Dostępne na:

https://katalogi.bn.org.pl/permalink/48OMNIS_NLOP/2nrd9p/alma9913688396205606.

132. MSWiA (2025a) *Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 1 lipca 2025 r. w sprawie sposobu przygotowania obiektu zbiorowej ochrony do użycia, szczegółowych warunków eksploatacji budowli ochronnych, zapewnienia porządku w ich obrębie oraz ich niezbędnego wyposażenia*. Dostępne na: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20250000933>.
133. MSWiA (2025b) *Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 lipca 2025 r. w sprawie warunków organizowania oraz wymagań, jakie powinny spełniać miejsca doraźnego schronienia*. Dostępne na: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20250000932>.
134. MSWiA, . (2023) *Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów*. Dostępne na: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20101090719>.
135. *NFPA 101. Life Safety Code* (2024). SKU: 10124. Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association (NFPA). Dostępne na: www.nfpa.org/product/nfpa-101-code/p0101code#2024-edition-details.
136. NIK (2024) *Raport: Zapewnienie obywatelom miejsc schronienia w budowlach ochronnych na wypadek wystąpienia zagrożenia*. Raport LKI.430.2.2023. Warszawa: Najwyższa Izba Kontroli (NIK). Dostępne na: www.nik.gov.pl/kontrole/P/23/061/LWA/.
137. Oakland, J.S. (2013) *Total quality management and operational excellence: text with cases*. 4. wyd. New York: Routledge.
138. Office of the Under Secretary of Defense for Research and Engineering (2022) *Human Systems Integration (HSI) Guidebook*. Washington, DC, USA: Office of Systems Engineering and Architecture. Dostępne na: <https://www.cto.mil/wp-content/uploads/2024/07/HSI-Guidebook-C1-2024.pdf>.
139. Olsson, P.Å. i Regan, M.A. (2001) „A comparison between actual and predicted evacuation times”, *Safety Science*, 38(2), s. 139–145. Dostępne na: [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(00\)00064-3](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00064-3).
140. Orłowska, I. i Dziubiński, M. (2018) „Stochastyczny charakter procesu ewakuacji ludzi z budynków / The Stochastic Nature of the Fire Evacuation of People from Buildings”, *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, 50(2), s. 90–106. Dostępne na: <https://doi.org/10.12845/bitp.50.2.2018.7>.
141. Pande, P.S., Neuman, R.P. i Cavanagh, R.R. (2007) „The Six Sigma Way”, w C. Boersch i R. Elschen (red.) *Das Summa Summarum des Management*.

- Wiesbaden: Gabler, s. 299–308. Dostępne na: https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9320-5_24.
142. Parasuraman, A. i Berry, L.L. (1990) *Delivering quality service: Balancing customer perceptions and expectations*. Washington, DC, USA: Free Press.
 143. Parasuraman, A., Zeithaml, V.A. i Berry, L. (1988) „SERVQUAL: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality”, *Journal of Retailing*, 64(1), s. 12–37.
 144. Parasuraman, A., Zeithaml, V.A. i Berry, L.L. (1985) „A conceptual model of service quality and its implications for future research”, *Journal of marketing*, 49(4), s. 41–50. Dostępne na: <https://www.jstor.org/stable/1251430>.
 145. Pareto, V. (1896) *Cours d'économie politique / Political Economy Course*. Lausanne, France: F. Rouge.
 146. „Patient handling equipment used in road ambulances - Part 1: General stretcher systems and patient handling equipment” (2015). Brussels, Belgium: European Committee for Standardization (CEN). Dostępne na: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/1e9f37de-95c0-4fb5-905d-095b22df67d5/en-1865-1-2010a1-2015>.
 147. „Patient handling equipment used in road ambulances - Part 4: Foldable patient transfer chair” (2012). Brussels, Belgium: European Committee for Standardization (CEN). Dostępne na: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5a534b43-49d5-40f1-8803-321cf02ef94d/sist-en-1865-4-2012>.
 148. Pawlewicz, A. (2024) *NFZ o zdrowiu. Otyłość i jej konsekwencje*. Warszawa: Narodowy Fundusz Zdrowia (NFZ). Dostępne na: <https://ezdrowie.gov.pl/19636>.
 149. Phraknoi, N. i in. (2023) „Older people's needs in urban disaster response: A systematic literature review”, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 96, s. 103809. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103809>.
 150. PN-EN 17210 (2021) „Dostępność i dostosowanie środowiska zabudowanego -- Wymagania funkcjonalne”. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny. Dostępne na: <https://sklep.pkn.pl/pn-en-17210-2021-06e.html>.
 151. Polski Komitet Normalizacyjny (PKN) (2018) „Wytyczne dotyczące auditowania systemów zarządzania”. Polski Komitet Normalizacyjny.
 152. *Population with disability* (2024). Luxembourg, Belgium: Eurostat. Dostępne na: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Population_with_disability (Dostęp: 20 wrzesień 2025).

153. Proulx, G. (2001) „Occupant behaviour and evacuation”, w *Proceedings of the 9th International Fire Protection Symposium. 9th International Fire Protection Symposium, 26 September 2001, Munich, Germany*, Ottawa, Canada: National Research Council of Canada, s. 219–232.
154. „Quality Management Systems: Fundamentals and Vocabulary” (2015). Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization. Dostępne na: <https://www.iso.org/standard/45481.html>.
155. *Raport o stanie zapewniania dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami przez podmioty publiczne w Polsce według stanu na 1 stycznia 2021 r.* (2021). Warszawa: Główny Urząd Statystyczny (GUS), s. 152. Dostępne na: www.funduszeuropejskie.gov.pl/media/106495/Raport_z_badania.pdf.
156. *Regulation (EU) 2017/745 of the European Parliament and of the Council of 5 April 2017 on medical devices* (2017) OJ L. Dostępne na: <http://data.europa.eu/eli/reg/2017/745/oj/eng> (Dostęp: 10 styczeń 2023).
157. „Requirements and test methods for stair-climbing devices” (2012). Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization. Dostępne na: <https://www.iso.org/standard/45653.html>.
158. RESNA ED-1:2019 (2019) *Emergency Stair Travel Devices Used by Individuals with Disabilities*. RESNA ED-1:2019. Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of North America.
159. Rice, L.A. i in. (2024) „Best practices associated with residential fire preparedness among individuals who use a wheelchair or scooter full time: A scoping review”, *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 47(5), s. 615–626. Dostępne na: <https://doi.org/10.1080/10790268.2023.2284398>.
160. *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* (2022). Dostępne na: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20020750690>.
161. Rządowe Centrum Bezpieczeństwa (2022) *Poradnik na czas kryzysu i wojny: „Bądź gotowy”*. 1. wyd. Warszawa: Rządowe Centrum Bezpieczeństwa. Dostępne na: www.gov.pl/web/rcb/badz-gotowy--poradnik-na-czas-kryzysu-i-wojny.
162. Salthouse, T.A. (1991) „Age and experience effects on the interpretation of orthographic drawings of three-dimensional objects.”, *Psychology and Aging*, 6(3), s. 426–433. Dostępne na: <https://doi.org/10.1037/0882-7974.6.3.426>.
163. Sano, T., Omiya, Y. i Hagiwara, I. (2004) „Evacuation from high-rise buildings by using an evacuation chair”, w *Proceedings of the 6th Asia Oceania Symposium on Fire Science and Technology. 6th Asia Oceania symposium on Fire Science and Technology, International Association Fire Safety Science*, Daegu, Korea:

- International Association Fire Safety Science, s. 7B1. Dostępne na: https://publications.iafss.org/publications/aofst/6/7b-1/view/aofst_6-7b-1.pdf.
164. SCDF Code (2024) *Code of Practice for Fire Safety in Buildings 2011 (2024 Edition)*. National standard. Singapore: Singapore Civil Defence Force (SCDF), s. 246. Dostępne na: www.bd.gov.hk/doc/en/resources/codes-and-references/code-and-design-manuals/fs_code2011.pdf.
165. Shewhart, W.A. (1931) *Economic control of quality of manufactured product*. New York, NY, USA: D. Van Nostrand Comp., Inc.
166. Shi, L. i in. (2009) „Developing a database for emergency evacuation model”, *Building and Environment*, 44(8), s. 1724–1729. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.11.008>.
167. Shields, T.J., Boyce, K.E. i McConnell, N. (2009) „The behaviour and evacuation experiences of WTC 9/11 evacuees with self-designated mobility impairments”, *Fire Safety Journal*, 44(6), s. 881–893. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.04.004>.
168. Skorupińska, E., Hitka, M. i Sydor, M. (2024) „Surveying Quality Management Methodologies in Wooden Furniture Production”, *Systems*, 12(2), s. 51. Dostępne na: <https://doi.org/10.3390/systems12020051>.
169. *State of Palestine* (2025). Report No. 42. New York, NY, USA: Unicef, s. 19. Dostępne na: <https://www.unicef.org/media/174306/file/SOP-Humanitarian-SitRep-31-August-2025.pdf>.
170. Steen, J.A. i Bergeron, M. (2017) „The Human Right to Safe Exit: University Evacuation Policy and Mobility Impairment”, *Journal of Policy Practice*, 16(3), s. 276–291. Dostępne na: <https://doi.org/10.1080/15588742.2016.1266723>.
171. Sunder, S.S. i in. (2005) *Final Report on the Collapse of the World Trade Center Towers*. Washington, DC, USA: United States Department of Commerce, s. 302. Dostępne na: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/NCSTAR/ncstar1.pdf>.
172. „Systemy zarządzania jakością -- Wymagania” (2016). Warszawa. Dostępne na: <https://sklep.pkn.pl/pn-en-iso-9001-2015-10p.html>.
173. Szulc, K., Cisek, M. i Król, M. (2022) „Evaluation of the Evacuation of People with Disabilities, Using an Evacuation Chair. Research Report”, *Safety & Fire Technology*, 60(2), s. 42–59. Dostępne na: <https://doi.org/10.12845/sft.60.2.2022.2>.
174. Taguchi, G. (1993) *Taguchi on Robust Technology Development. Bringing Quality Engineering Upstream*. Przetłumaczone przez S.-C. Tsai. New York, NY, USA: ASME Press. Dostępne na: <https://lccn.loc.gov/92030947>.

175. Taran, O. *i in.* (2023) *Guidelines: Combined arms units to combat Iranian-made strike UAVS „SHAHED-136” („GERAN-2”) and the Russian Federation „LANCET-2” (according to the experience of the Russian-Ukrainian war of 2022-2023)*. Military publication VP 3-00(116)120. Kijów, Ukraine: Center for Operational Standards and Methods of Training of the Armed Forces of Ukraine, s. 68. Dostępne na: https://mil.ee/wp-content/uploads/2024/10/2023_Ukrainian-handbook-C-UAS-ON-IRANIAN-MADE-SHAHED-136-GERAN-2-AND-LANCET-2-ASSOCIATION-AIRCRAFT.pdf.
176. Thériault, W. *i in.* (2024) „Current learning strategies in fire evacuation for seniors and people with disabilities in private seniors’ residences and long-term care homes: a scoping review”, *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 5, s. 1305180. Dostępne na: <https://doi.org/10.3389/fresc.2024.1305180>.
177. Tim Lobstein *i in.* (2023) „World Obesity Atlas 2023”. World Obesity Federation. Dostępne na: <https://data.worldobesity.org/publications/?cat=19>.
178. „Uchwała Nr 161 Rady Ministrów z dnia 26 października 2018 r. w sprawie przyjęcia dokumentu Polityka społeczna wobec osób starszych 2030. BEZPIECZEŃSTWO – UCZESTNICTWO – SOLIDARNOŚĆ” (2018). Monitor Polski. Dostępne na: www.infor.pl/akt-prawny/U91.2018.026.0000458,uchwala-nr-161-rady-ministrow-w-sprawie-przyjecia-dokumentu.html.
179. UE (2017) *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2017/745 z dnia 5 kwietnia 2017 r. w sprawie wyrobów medycznych, zmiany dyrektywy 2001/83/WE, rozporządzenia (WE) nr 178/2002 i rozporządzenia (WE) nr 1223/2009 oraz uchylenia dyrektyw Rady 90/385/EWG i 93/42/EWG, 32017R0745*. Dostępne na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX%3A32017R0745>.
180. Ulewicz, R. i Nový, F. (2019) „Quality management systems in special processes”, w *Transportation Research Procedia. 13th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport (TRANSCOM 2019)*, Amsterdam, Netherlands: Elsevier B.V., s. 113–118. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.019>.
181. United States Congress (2004) „Assistive Technology Act of 2004”. 108-364, 118 Stat. 1707. Dostępne na: <https://www.congress.gov/108/plaws/publ364/PLAW-108publ364.pdf>.
182. „Urządzenia do przenoszenia pacjenta stosowane w ambulansach drogowych -- Część 1: Ogólne systemy noszy i urządzenia do przenoszenia pacjenta” (2015). Warszawa, Poland: Polski Komitet Normalizacyjny. Dostępne na: <https://sklep.pkn.pl/pn-en-1865-1-a1-2015-08e.html>.
183. „Urządzenia do przenoszenia pacjenta stosowane w ambulansach drogowych -- Część 4: Składane krzesło transportowe” (2014). Warszawa, Poland: Polski Komitet Normalizacyjny. Dostępne na: <https://sklep.pkn.pl/pn-en-1865-4-2012p.html>.

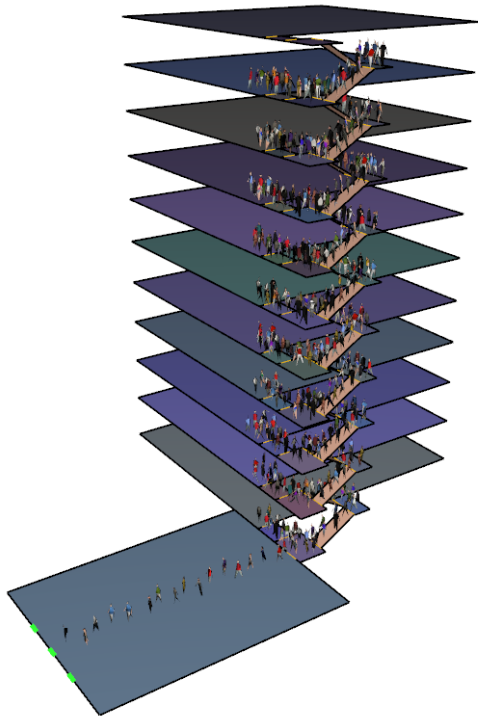
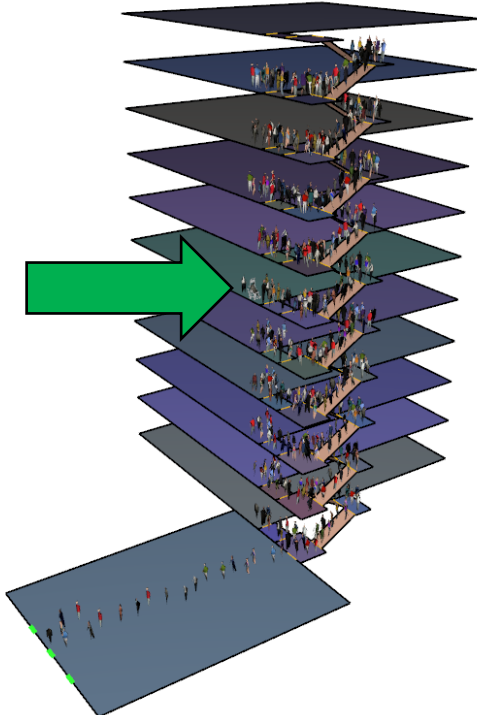
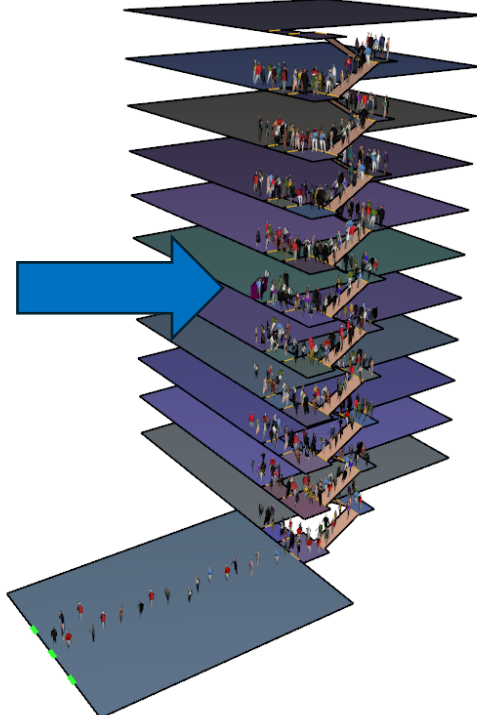
184. Voegelin, E. (2009) *Platon*. Przetłumaczone przez A. Legutko-Dybowska. Warszawa: Fundacja Świętego Mikołaja : Redakcja „Teologii Politycznej” (Seria „Teologii Politycznej”).
185. Wang, J., Xie, Q. i Lu, S. (2015) „Sensitivity analysis for the reliability of occupant safety evacuation under fire emergency”, *International Journal of Reliability and Safety*, 9(4), s. 272. Dostępne na: <https://doi.org/10.1504/IJRS.2015.073135>.
186. Wang, Y., Kyriakidis, M. i Dang, V.N. (2021) „Incorporating human factors in emergency evacuation – An overview of behavioral factors and models”, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 60, s. 102254. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102254>.
187. Wang, Y. i Lo, H. (2002) „Service quality, customer satisfaction and behavior intentions: Evidence from China’s telecommunication industry”, *info*, 4(6), s. 50–60. Dostępne na: <https://doi.org/10.1108/14636690210453406>.
188. Wawak, S. (2011) *Zarządzanie jakością: podstawy, systemy i narzędzia*. Gliwice: Helion.
189. Wawak, S. (2018a) *Koncepcja oceny sprawności zarządzania jakością w przedsiębiorstwie*. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego (Zeszyty Naukowe / Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie. Seria Specjalna, Monografie, 255).
190. Wawak, S. (2018b) *Koncepcja oceny sprawności zarządzania jakością w przedsiębiorstwie =: Assessing quality management efficiency in the enterprise*. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie (Zeszyty Naukowe / Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie. Seria Specjalna: Monografie, 255).
191. WHO (2018) *International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF)*, World Health Organization. Dostępne na: <https://www.who.int/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health> (Dostęp: 12 grudzień 2023).
192. WHO (2022) *Global report on health equity for persons with disabilities*. Geneva: World Health Organization. Dostępne na: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240063600>.
193. Wysocka, A. i in. (2013) *Ludność i gospodarstwa domowe. Stan i struktura społeczno-ekonomiczna*. Zredagowane przez L. Nowak. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny. Departament Badań Demograficznych i Rynku Pracy (Narodowy Spis Powszechny Ludności i Mieszkań 2011). Dostępne na: <http://stat.gov.pl/spisy-powszechne/nsp-2011/nsp-2011-wyniki/ludnosc-i-gospodarstwa-domowe-stand-i-struktura-spoeczno-ekonomiczna-czesc-i-ludnosc-nsp-2011,11,1.html> (Dostęp: 26 czerwiec 2015).

194. Zając, K. i Sydor, M. (2023) „Metody badań eksperymentalnych jakości krzeseł ewakuacyjnych”, w. *Mobilność osób o specjalnych potrzebach*, Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna. Dostępne na: <https://cwod.wim.wat.edu.pl/wp-content/uploads/2024/04/poster-7.pdf>.
195. Zając, K. i Sydor, M. (2024) „Measuring and Comparing the Quality of Evacuation Chairs: A Review of Scientific Literature”, w J. Zawila-Niedźwiecki i A. Płaczek (red.) *Szkoła Logistyki 2024*. Radom: Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium” (Nauki ekonomiczne), s. 43–54. Dostępne na: e-ISBN 978-83-68026-08-5.
196. Zając, K., Sydor, M. i Mrugalska, B. (2023) „Quality of Emergency Stair Travel Devices”, *Zeszyty Naukowe SGSP*, 86(2), s. 23–51. Dostępne na: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.7145>.
197. Zeithaml, V.A., Berry, L.L. i Parasuraman, A. (1993) „The nature and determinants of customer expectations of service”, *Journal of the academy of Marketing Science*, 21(1), s. 1–12.
198. Zeithaml, V.A., Parasuraman, A. i Malhotra, A. (2002) „Service Quality Delivery through Web Sites: A Critical Review of Extant Knowledge”, *Journal of the Academy of Marketing Science*, 30(4), s. 362–375. Dostępne na: <https://doi.org/10.1177/009207002236911>.
199. Zhang, X. (2017) „Study on rapid evacuation in high-rise buildings”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20(3), s. 1203–1210. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.04.007>.
200. Zhu, G. i in. (2024) „Rapid and environmentally friendly reconstruction of airport runways under combined laser and liquid energy fields: Ushering a new era of low-carbon and efficient rubber removal in the aviation industry”, *Journal of Cleaner Production*, 477, s. 143809. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143809>.

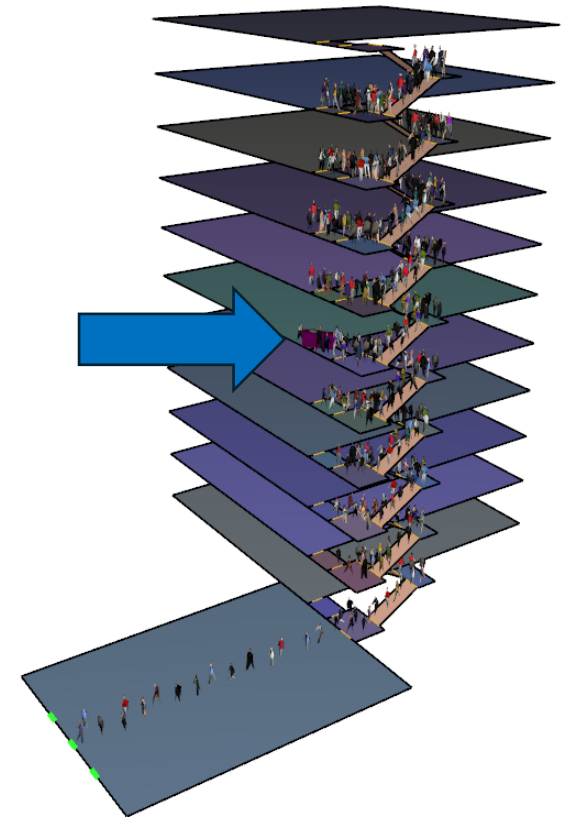
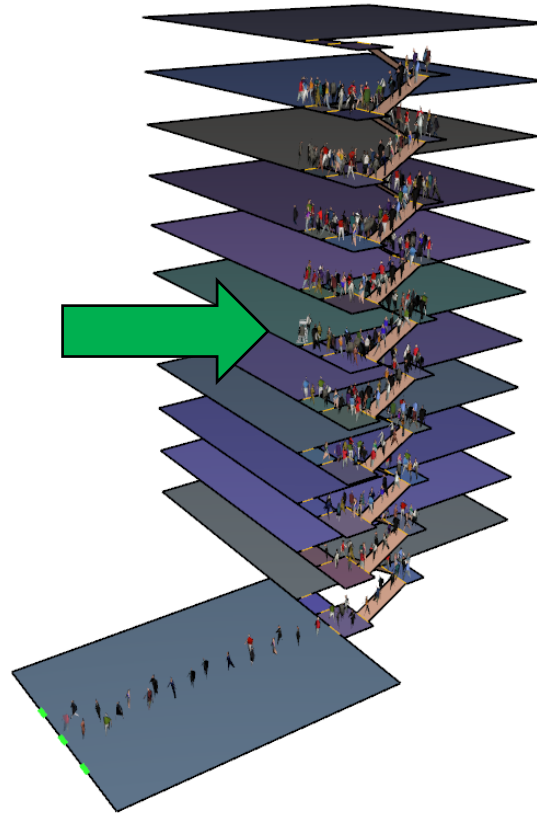
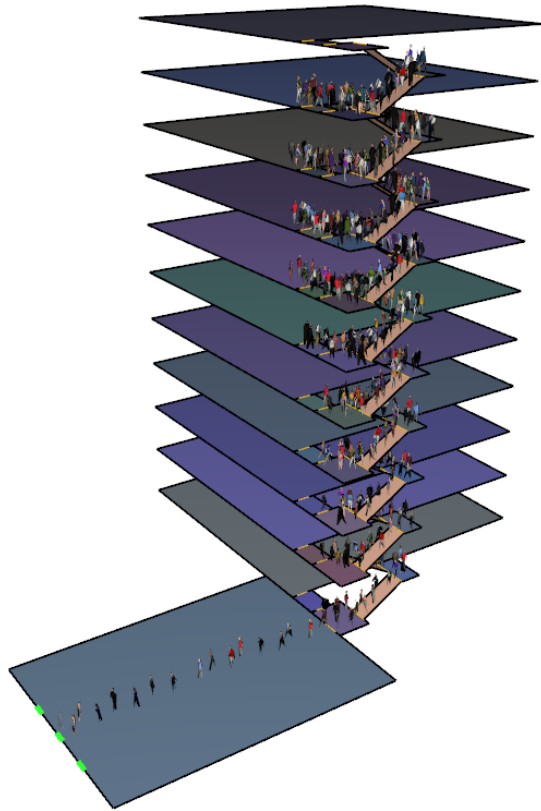
Załącznik

Wizualizacja symulacji ewakuacji

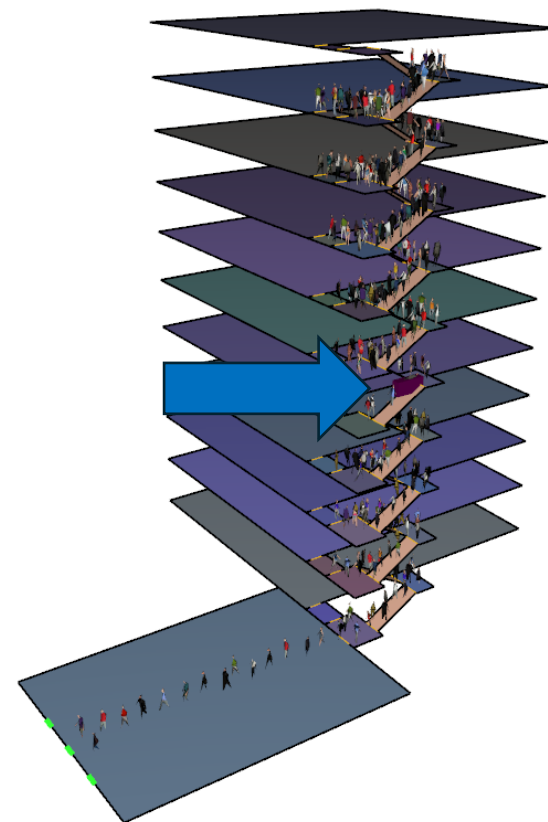
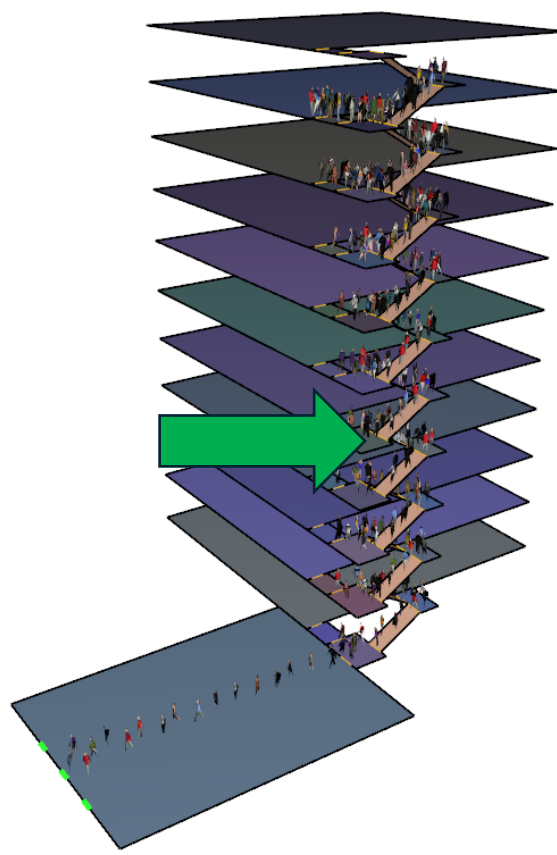
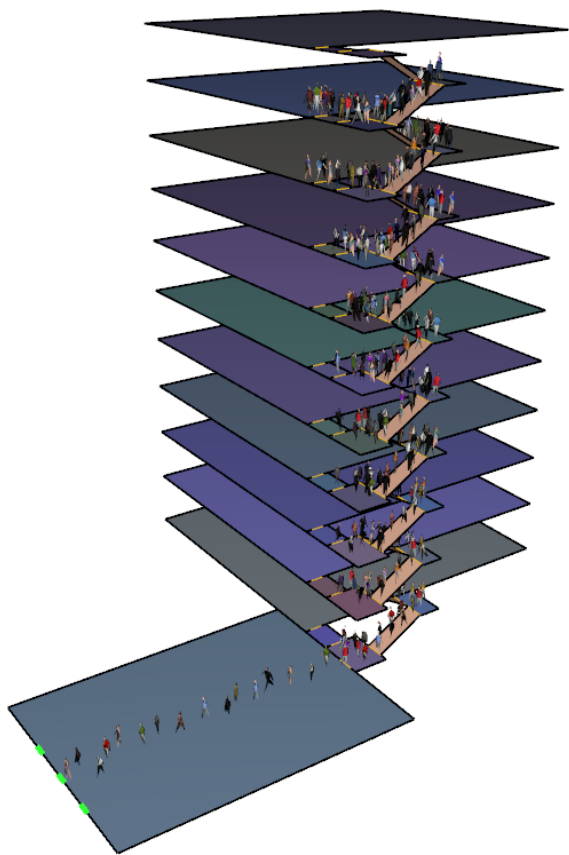
Legenda: strzałka zielona – miejsce, gdzie znajduje się krzesło ewakuacyjne; strzałka niebieska – miejsce, gdzie znajduje się materac ewakuacyjny.

Czas (s)	Ewakuacja ludzi	Ewakuacja krzesa (6 kondygnacja)	Ewakuacja materaca + 2 ratowników (6 kondygnacja)
100 s			

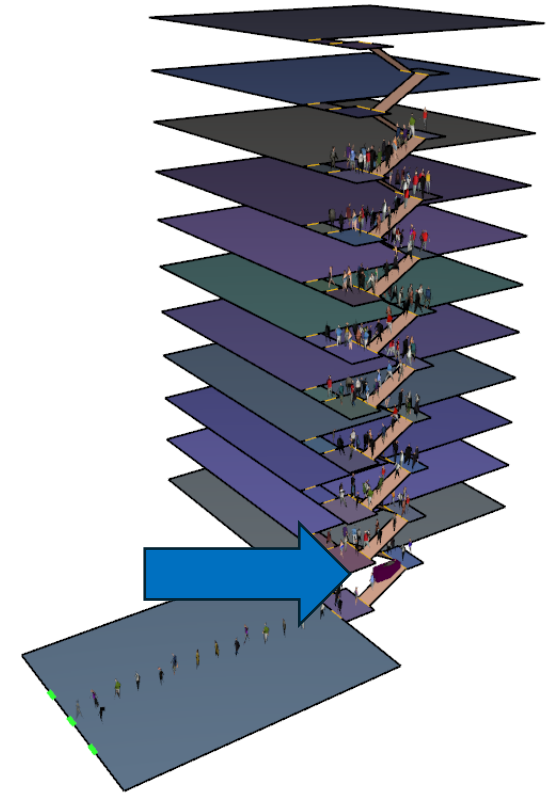
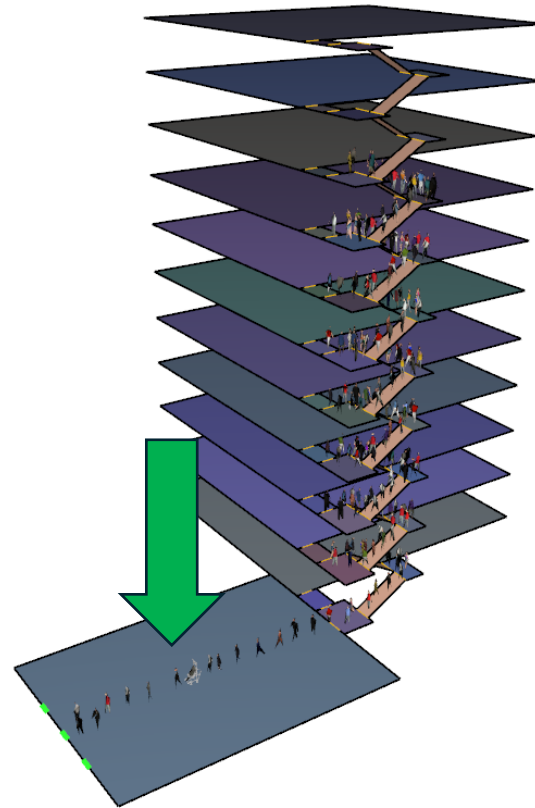
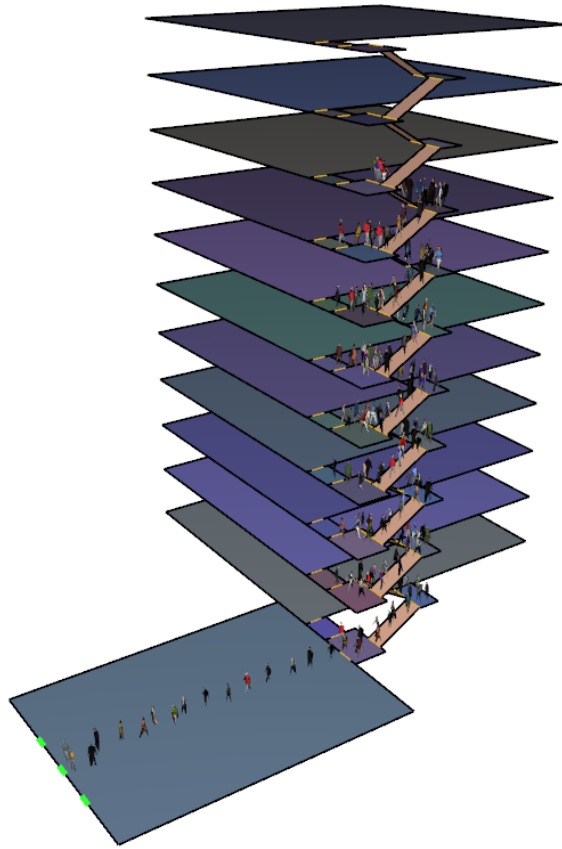
200 s



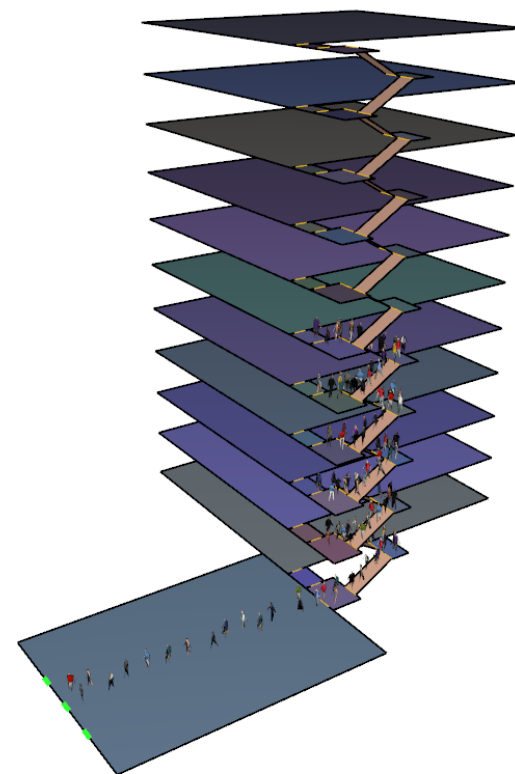
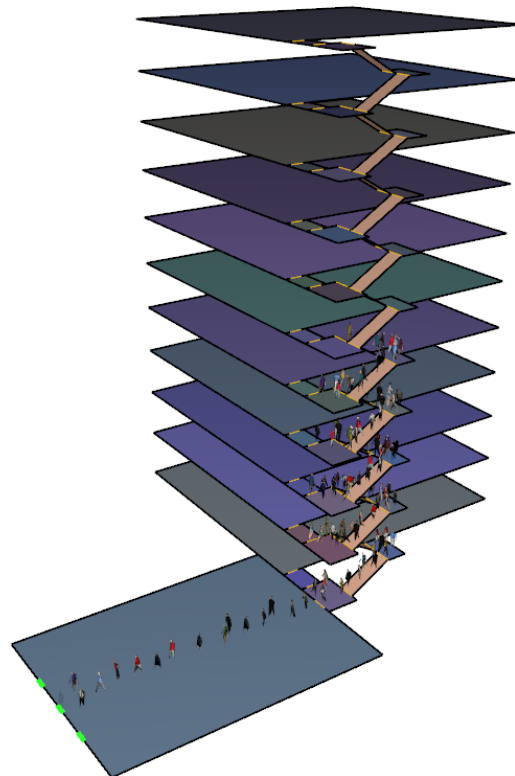
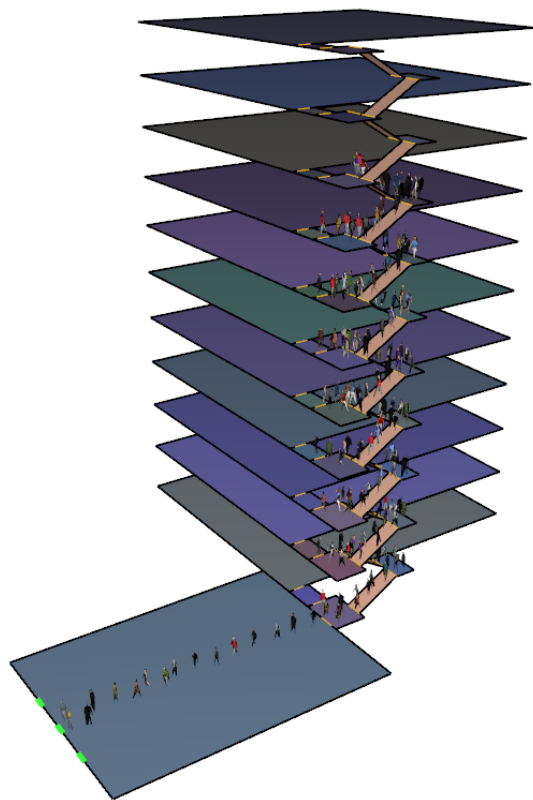
300 s



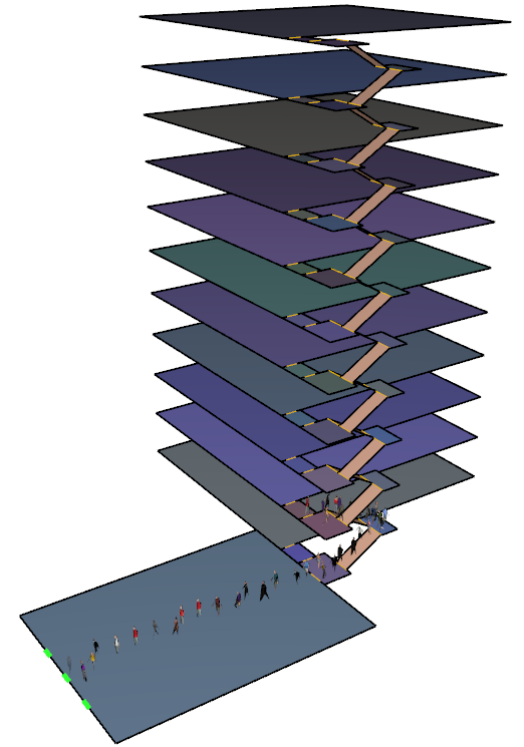
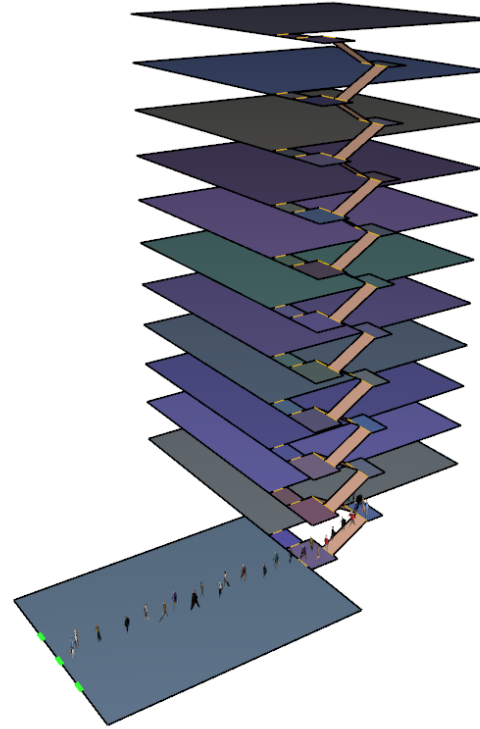
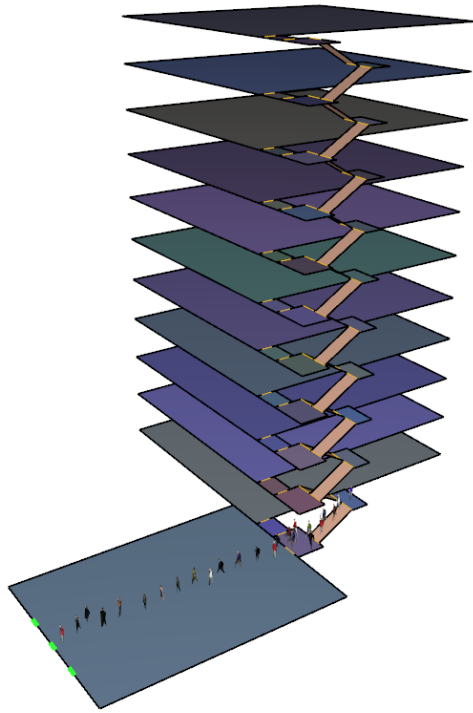
400 s



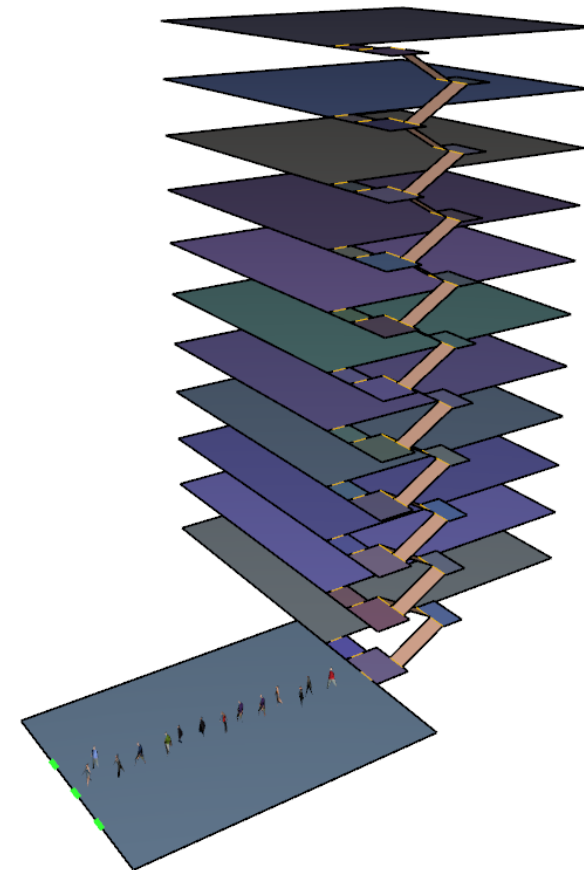
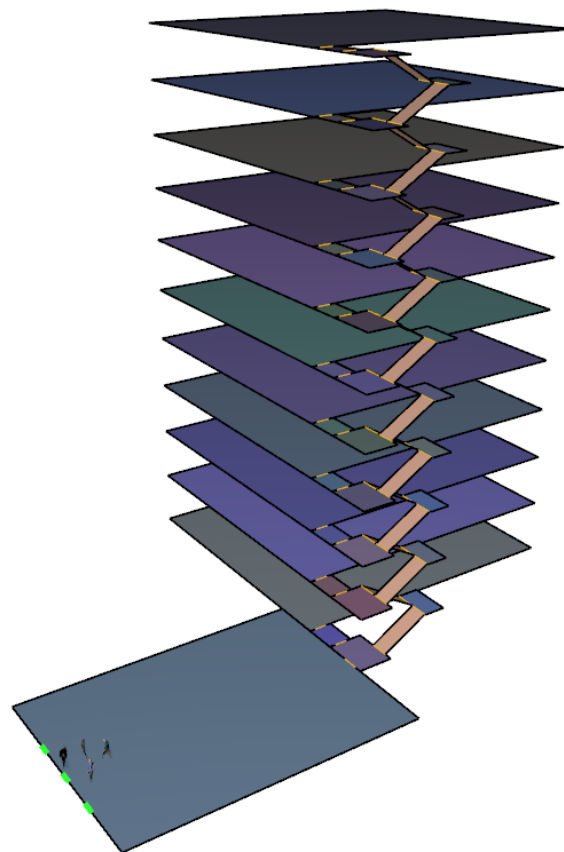
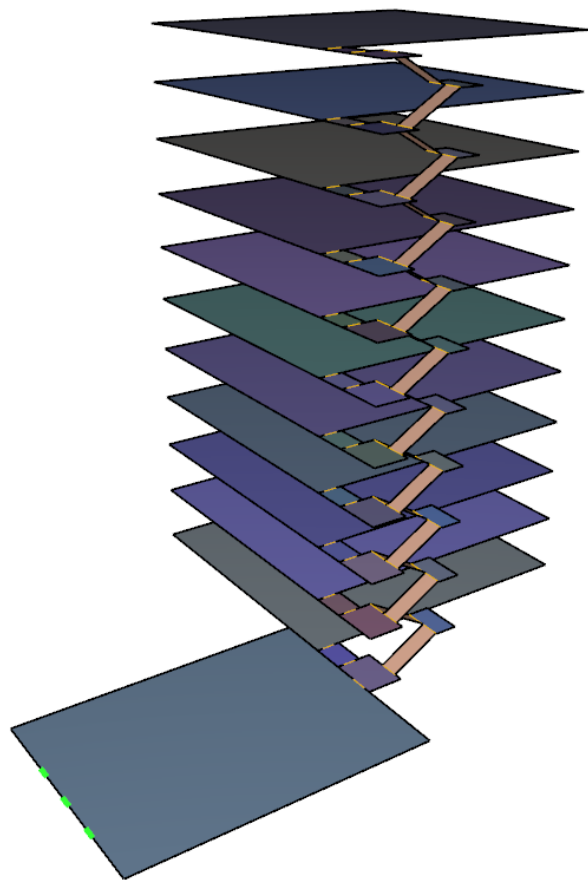
500 s



600 s



637,3 s



Spis rysunków

Rysunek 1. Liczba osób otyłych w Europie.....	13
Rysunek 2. Procentowe zestawienie miejsc w budowlach ochronnych w stosunku do liczby mieszkańców danego województwa w 2021 r.	15
Rysunek 3. Schemat blokowy analizy literatury	20
Rysunek 4. Problemy związane z ewakuacją z budynków - mapa słów kluczowych.	21
Rysunek 5. Zawężona problematyka ewakuacji dotycząca urządzeń do ewakuacji po schodach i (niepełnosprawność lub niepełnosprawności) (na podstawie 33 publikacji).	23
Rysunek 6. Schemat blokowy metodyki badawczej, cz. 1	27
Rysunek 7. Schemat blokowy metodyki badawczej, cz. 2.	28
Rysunek 8. Rodzaj krzesła ewakuacyjnego (na dwóch stałych kołach) użytego w testach zgodnie z danymi zawartymi w [59]; w badaniach własnych użyto takiego samego rodzaju krzesła ewakuacyjnego (prod. Evac+Chair, model 600H).....	55
Rysunek 9. Krzesło ewakuacyjne na czterech stałych kołach użyte w badaniach (model FALCON 2.0).	56
Rysunek 10. Krzesło ewakuacyjne z mechanizmem kół gwiazdowych (model RESCUE Shelter).	56
Rysunek 11. Krzesło ewakuacyjne z napędem elektrycznym (model Everest 2.0).	57
Rysunek 12. Przykładowy materac ewakuacyjny SLIM	62
Rysunek 13. Przykładowe prześcieradło ewakuacyjne Comfort.....	63
Rysunek 14. Prześcieradło ewakuacyjne.....	63
Rysunek 15. Nosze płachtowe typu RESCUE.	64
Rysunek 16. Noszak transferowy (źródło: Ensafe.One.....	65
Rysunek 17. Krzesło transportowe przenośne.....	65
Rysunek 18. Ewakuacja przy użyciu noszy.	66
Rysunek 19. Wzór na współczynnik konkordancji Kendalla i Smitha.	74
Rysunek 20. Dostępny czas bezpiecznej ewakuacji.....	102

Rysunek 21. Schemat blokowy metodyki badawczej dla czynnika jakościowego „Funkcjonalność ewakuacyjna” cz. 1.....	105
Rysunek 22. Schemat blokowy metodyki badawczej dla czynnika jakościowego „Funkcjonalność ewakuacyjna”, cz. 2.....	106
Rysunek 23. Ewakuacja w poziomie na krześle ewakuacyjnym (EnSafe.One FALCON evacuation chair, 2024).	108
Rysunek 24. Ewakuacja w pionie na krześle ewakuacyjnym (EnSafe.One FALCON evacuation chair, 2024).	109
Rysunek 25. Ewakuacja w poziomie na materacu ewakuacyjnym (PRIME) z dwoma ratownikami (operatorami).....	109
Rysunek 26. Manekin ratowniczy.....	110
Rysunek 27. Noszak transferowy do przenoszenia osoby ewakuowanej.....	111
Rysunek 28. Krzesło ewakuacyjne Falcon 2.0.....	126
Rysunek 29. Krzesło ewakuacyjne na dwóch stałych kołach (typ „2-Wheeled” (prod. Evac+Chair, model 600H).....	127
Rysunek 30. Model 3D przedstawiający klatkę schodową użytą do testów rzeczywistych i symulacji komputerowych.....	131
Rysunek 31. Krzesło ewakuacyjne EnSafe.One Falcon 2.0 – model użyty w symulacji	132
Rysunek 32. Materac ewakuacyjny (EnSafe.One PRIME) z jednym operatorem – model użyty w symulacji.....	132
Rysunek 33. Model 3D obiektu przyjętego do symulacji.....	138
Rysunek 34. Przykładowe obrazy pokazujące przebieg ewakuacji z wykorzystaniem krzesła ewakuacyjnego EnSafe.One Falcon 2.0	139
Rysunek 35. Przykładowe obrazy pokazujące przebieg ewakuacji z wykorzystaniem materaca ewakuacyjnego EnSafe.One PRIME.	139
Rysunek 36. Czasy ewakuacji wspomaganej z 11 kondygnacji obiektu (1a-1c – scenariusze ewakuacji).	142
Rysunek 37. Czasy ewakuacji niewspomaganej z całego budynku i wspomaganej z 11 i 6 kondygnacji obiektu (2a-2i.2 – scenariusze ewakuacji).....	143

Rysunek 38. Testowane krzesła ewakuacyjne na dwóch stałych kołach: A (Escape Mobility), B (Evac Chair 600H), C (EnSafe.One Robin 2.0).	149
Rysunek 39. Manekin o masie 80 kg użyty do badań trwałości pasów jezdnych i układu jezdnego	151
Rysunek 40. Metoda pomiaru temperatury płóz jezdnych testowanych krzeseł ewakuacyjnych	151
Rysunek 41. Liczba przejechanych kondygnacji przez testowane krzesła ewakuacyjne	154
Rysunek 42. Zmierzone temperatury płóz pasów jezdnych w badanych krzesłach ewakuacyjnych	155
Rysunek 43. Pas jezdny krzesła A przed wykonaniem testu	157
Rysunek 44. Pas jezdny krzesła ewakuacyjnego A po wykonaniu testu i zjazdu przez 94 kondygnacje	158
Rysunek 45. Pas jezdny krzesła ewakuacyjnego B przed wykonaniem testu.	158
Rysunek 46. Pas jezdny krzesła ewakuacyjnego B po wykonaniu testu	159
Rysunek 47. Pas jezdny krzesła ewakuacyjnego C przed wykonaniem testu	159
Rysunek 48. Pas jezdny krzesła ewakuacyjnego C po wykonaniu eksperymentu	159
Rysunek 49. Zużycie pasów jezdnych po testach: a - krzesło ewakuacyjne A (Escape Mobility) – po 94 kondygnacjach, b – Krzesło ewakuacyjne B (Evac+Chair) po 98 kondygnacjach, c – krzesło ewakuacyjne C (EnSafe.One) po 300 kondygnacjach.....	160
Rysunek 50. Krzesło ewakuacyjne na stałych czterech kołach FALCON 2.0.....	173
Rysunek 51. Materac ewakuacyjny SLIM (źródło: EnSafe.One.....	173
Rysunek 52. Noszak transferowy Easy Move (źródło: EnSafe.One	174
Rysunek 53. Krzesło ewakuacyjne RESCUE Shelter (źródło: EnSafe.One	174
Rysunek 54. Materac ewakuacyjny SLIM (źródło: EnSafe.One.....	175
Rysunek 55. Nosze płachtowe RESCUE (źródło: EnSafe.One	175
Rysunek 56. Noszak transferowy Easy Move (źródło: EnSafe.One	176
Rysunek 57. Lokalizacja i ilość sprzętu ewakuacyjnego i pomocniczego w budynku użyteczności publicznej	176
Rysunek 58. Metodyka badawcza oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych cz. 1	180

Rysunek 59. Metodyka badawcza oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych cz. 2	181
Rysunek 60. Metodyka badawcza oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych cz. 3	182
Rysunek 61. Metodyka badawcza oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych cz. 4	183
Rysunek 62. Metodyka badawcza oceny jakości krzeseł ewakuacyjnych cz. 5	184

Spis tabel

Tabela 1. Liczby oraz odsetki ludności powyżej 5. r.ż. na świecie z otyłością lub nadwagą	12
Tabela 2. Zestawienie wyników badań eksperckich.	74
Tabela 3. Szybkość ewakuacji w zależności od liczby ratowników	97
Tabela 4. Prędkości przemieszczania się ludzi oraz wykonywania czynności ze sprzętem ewakuacyjnym i transferowym	98
Tabela 5. Zestawienie wyników uzyskanych podczas prowadzenia testów w skali rzeczywistej	115
Tabela 6. Wyniki symulacji przeprowadzonej w programie Pathfinder	141
Tabela 7. Specyfikacja badanych krzeseł ewakuacyjnych.....	149
Tabela 8. Główne parametry techniczne badanych krzeseł ewakuacyjnych źródło....	150
Tabela 9. Główne parametry układów jezdnych (płóz i pasów)	150
Tabela 10. Podsumowanie testów krzeseł ewakuacyjnych.....	156