

mł. bryg. dr inż. Mariusz PECIO
st. kpt. mgr inż. Krzysztof ŁĄCKI
Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Badania rzeczywistych czasów przemieszczania się dzieci w trakcie ewakuacji z budynków przedszkolnych

Actual Movement Time of Children from Pre-school Buildings during Evacuation

Streszczenie

Artykuł bazuje na pracy badawczej statutowej, zrealizowanej w Szkole Głównej Służby Pożarniczej pod numerem S/E-422/10/14. Wyniki pracy badawczej zostały skonfrontowane z wynikami obliczeń analitycznych oraz z komputerowymi symulacjami ewakuacji dzieci z przedszkoli. Obliczenia i symulacje wykonano przy wykorzystaniu wartości prędkości opracowanych przez Aldís Rún Lárusdóttir z Politechniki Duńskiej. W artykule dokonano analizy technicznych warunków ewakuacji dla budynków przedszkolnych, opisanych w obowiązujących przepisach techniczno-budowlanych. Celem artykułu było wyznaczenie rzeczywistych czasów przemieszczania się dzieci w budynkach przedszkolnych oraz porównanie ich z wynikami uzyskanymi z analitycznych metod obliczeniowych i symulacji komputerowych dedykowanych głównie do analizy czasów przemieszczania się osób dorosłych. W celu realizacji postawionego celu badawczego wyznaczono trzy obiekty przedszkolne zlokalizowane na terenie Warszawy i przeprowadzono w nich próbne ewakuacje dzieci w warunkach rzeczywistych. Dla tych samych budynków wykonano obliczenia czasów przemieszczania się metodą analityczną (standard brytyjski i nowozelandzki) oraz wyznaczono czasy przy wykorzystaniu symulacji komputerowych. Analiza porównawcza uzyskanych wyników pozwoliła na opracowanie wniosków końcowych.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe, ewakuacja, rozwój pożaru, zagrożenie, przedszkola

Summary

The article is based on the research carried out in the Main School of Fire Service under the number S/E-422/10/14. The results of the research work were confronted with the results of analytical calculations and computer simulations of children evacuation from kindergartens using the speed developed by Aldis Run Lárusdóttir from the Technical University of Denmark. The article contains an analysis of the technical conditions for the evacuation of buildings described in the Polish technical-building regulations. The aim of the article was to determine the actual movement time of children from pre-school buildings, and to compare them with the results obtained with standard methods (analytical and computational simulations) dedicated mainly to analyze the movement of adults. In order to achieve this objective, three school facilities located in Warsaw were set out and a testing evacuation of children under real conditions was conducted. For the same buildings, there were performed calculations of movement time by analytical method (standard British and New Zealand) and designated movement times using computer simulation. Comparative analysis of the results allowed to develop the conclusions.

Keywords: fire safety, evacuation, fire development, threat, kindergarten, pre-school

Wprowadzenie

W trakcie realizowania pracy badawczej zawierającej dane wejściowe do opracowania niniejszego artykułu zostały przeprowadzone badania, które miały na celu ustalenie rzeczywistych czasów przemieszczania się dzieci w budynkach przedszkolnych. Analizie zostały poddane badania przeprowadzone w warunkach rzeczywistych w trzech wytypowanych placówkach na terenie Warszawy. Następnie przeprowadzono obliczenia czasów przemieszczania się według standardu brytyjskiego [5] i nowozelandzkiego [7] oraz komputerowe symulacje ewakuacji przy wykorzystaniu programu Pathfinder. Dane wejściowe do symulacji i jednej z serii obliczeń zostały zaczerpnięte z badań duńskich [4]. Do obliczeń analitycznych czasów przemieszczania się przyjmuje się zwykle wskaźniki charakterystyczne dla osób dorosłych, ewentualnie skorygowane o uproszczone wartości dostępne w literaturze i standardach brytyjskich i amerykańskich. Analiza porównawcza czasów przemieszczania się zmierzonych w trakcie przeprowadzonych próbnym ewakuacji w warunkach rzeczywistych oraz wykonanych obliczeń i symulacji komputerowych pozwoliła na dokonanie oceny wyników i próby wskazania przyczyn występujących różnic.

W trakcie przygotowań do badań empirycznych przeprowadzono analizę literaturową przedmiotu, zagadnienia w zakresie wymagań techniczno-budowlanych w zakresie ewakuacji, dla budynków przeznaczonych do wychowania przedszkolnego. Jest to niezbędny etap w celu dokonania weryfikacji budynków

wybranych do przeprowadzenia próbnych ewakuacji w funkcjonujących przedszkolach.

1. Analiza wymagań techniczno-budowlanych dla budynków przedszkolnych

W pomieszczeniach przedszkolnych powinno być zapewnione przejście ewakuacyjne, od najdalszego miejsca, w którym może przebywać użytkownik, do wyjścia ewakuacyjnego (na drogę ewakuacyjną, do innej strefy pożarowej lub na zewnątrz budynku), którego długość nie powinna przekraczać 40 m.

Szerokość takiego przejścia określa się proporcjonalnie do liczby osób przewidzianych do ewakuacji:

- co najmniej 0,6 m na każde 100 osób, nie mniej niż 0,9 m,
- dla przejścia służącego do ewakuacji do 3 osób – nie mniej niż 0,8 m.

Długość dojścia ewakuacyjnego, tj. drogi ewakuacyjnej od wyjścia z pomieszczenia na tę drogę do wyjścia do innej strefy pożarowej lub na zewnątrz budynku przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wymagane długości dojść ewakuacyjnych w budynkach ZL II

Rodzaj strefy pożarowej	Długość dojścia w m	
	przy jednym dojściu	przy co najmniej 2 dojściach*)
ZL II	10	40

*) Dla dojścia najkrótszego, przy czym dopuszcza się dla drugiego dojścia długość większą o 100% od najkrótszego. Dojścia te nie mogą się pokrywać ani krzyżować.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie rozporządzenia [1].

Szerokość poziomych dróg ewakuacyjnych oblicza się proporcjonalnie do liczby osób mogących przebywać jednocześnie na danej kondygnacji budynku:

- co najmniej 0,6 m na każde 100 osób, nie mniej niż 1,4 m,
- dla nie więcej niż 20 osób dopuszczalne zmniejszenie do 1,2 m.

Wysokość drogi ewakuacyjnej powinna wynosić co najmniej 2,2 m. Dopuszcza się lokalne obniżenie do 2 m (długość obniżenia nie może przekroczyć 1,5 m).

Dla pomieszczenia w przedszkolu wymagane są minimum dwa wyjścia ewakuacyjne (oddalone od siebie o co najmniej 5 m), jeżeli jest ono przeznaczone do jednoczesnego przebywania w nim więcej niż 30 osób.

Łączną szerokość drzwi w świetle, stanowiących wyjścia ewakuacyjne z pomieszczenia oblicza się w ten sam sposób, co szerokość przejścia ewakuacyjnego. Drzwi pełniące funkcję wyjścia ewakuacyjnego powinny otwierać się na zewnątrz pomieszczeń:

- przeznaczonych do jednoczesnego przebywania ponad 50 osób,
- przeznaczonych dla ponad 6 osób o ograniczonej zdolności poruszania się
 - dzieci w wieku przedszkolnym.

Tabela 2. Graniczne wymiary schodów w budynkach przedszkolnych

Przeznaczenie budynków	Minimalna szerokość użytkowa (m)		Maksymalna wysokość stopni (m)
	biegu	spocznika	
Przedszkola i żłobki	1,20	1,30	0,15

Źródło: Opracowanie własne na podstawie rozporządzenia [1].

W przedszkolu należącym do grupy wysokości budynków niskich (N) lub średniowysokich (SW) należy stosować klatki schodowe obudowane i zamykane drzwiami oraz wyposażone w urządzenia zapobiegające zadymieniu lub służące do usuwania dymu. W przypadku budynku wysokiego (W) lub wysokościowego (WW), wymagane są co najmniej dwie klatki schodowe obudowane i oddzielone od poziomych dróg komunikacji ogólnej oraz pomieszczeń przedSIONKIEM przeciwożarowym. Ponadto w budynku wysokim oraz w budynku wysokościowym, powinny być one wyposażone w urządzenia zapobiegające ich zadymieniu. Graniczne wymiary schodów w przedszkolach przedstawiono w tabeli 2.

Wysokie wymagania stawiane budynkom, w których prowadzone są przedszkola, sprawiły, że po wprowadzeniu nowych przepisów wiele obiektów kwalifikuje się jako budynki zagrażające życiu. Z kolei zmiana wieku dzieci objętych obowiązkiem szkolnym utrudnia sprecyzowanie przedziału wiekowego, w jakim należy uznawać dzieci za osoby o ograniczonej zdolności do poruszania się.

Występują problemy z jednoznacznym zakwalifikowaniem oddziałów przedszkolnych organizowanych w szkołach podstawowych do konkretnej kategorii zagrożenia ludzi. Pomimo że oddziały realizują te same zadania co przedszkola (kategoria ZL II), to powstały na bazie „zerówek”, które nigdy jako strefy ZL II traktowane nie były. Z racji braku odpowiednich aktów wykonawczych, nie można się na razie odnieść do przekształcenia oddziałów w przedszkola planowanego na wrzesień 2016 r.

Wymagania przeciwpożarowe dla innych form wychowania przedszkolnego są zdecydowanie niższe niż dla obiektów kategorii ZL II. Nie uwzględniono możliwości uczestniczenia rodziców w zajęciach, przez co dopuszczalne jest przebywanie ponad 50 osób w jednym lokalu (bez dodatkowych obostrzeń). Nie ma wymogu lokalizowania punktów lub zespołów wychowania przedszkolnego w strefie pożarowej ZL. Możliwe jest również organizowanie kilku punktów lub zespołów w jednej strefie pożarowej. Zapisy dotyczące ograniczenia liczby osób w lokalu przeznaczonym na żłobek lub klub dziecięcy, są tak samo nieprecyzyjne, jak w przypadku innych form wychowania przedszkolnego. Zezwala się na lokalizowanie nie więcej niż jednego żłobka i klubu w jednej strefie pożarowej (wyłącznie strefa ZL). Nie ma jednak przepisów zabraniających tworzenia w tej samej strefie innych form wychowania przedszkolnego. Nie istnieją szczegółowe wymogi przeciwpożarowe dla lokali, w których prowadzona jest dzienna opieka nad dziećmi. Limit dzieci przypisany jest do opiekuna, a nie do lokalu. Nie ma

ograniczenia liczby osób prowadzących dzienną opiekę w jednym lokalu, a co się z tym wiąże nie ma też ograniczenia liczby dzieci w jednym lokalu.

Nieprecyzyjne i niekorelujące ze sobą przepisy sprawiają, że poziom bezpieczeństwa zapewniany małym dzieciom w lokalach dziennej opieki jest skrajnie różny od tego, jaki zapewniają przedszkola.

2. Charakterystyka budynków przedszkolnych wybranych do badań

Badaniom rzeczywistych czasów przemieszczania poddano trzy budynki przedszkolne:

1. Przedszkole w Warszawie w dzielnicy Bielany (2 kondygnacje).
2. Przedszkole w Warszawie w dzielnicy Bródno (3 kondygnacje).
3. Przedszkole w Warszawie w dzielnicy Wesoła (3 kondygnacje).

Przedszkole nr 1 jest budynkiem wykonanym w latach 60. XX wieku w technologii tradycyjnej, na planie prostokąta o wymiarach 29,62 m × 12,89 m. Składa się z dwóch kondygnacji nadziemnych oraz częściowego podpiwniczenia. Szerokość korytarza w tym przedszkolu wynosi 1,42 m, szerokość klatki schodowej 0,94 m, na drodze ewakuacyjnej występują dwie przeszkody: drzwi na klatkę schodową o szerokości 1,2 m oraz drzwi na zewnątrz budynku o szerokości 1,2 m.

Parametry ewakuacyjne przyjęte do obliczeń w przedszkolu nr 1:

- | | |
|---|----------|
| – długość dojścia po drodze poziomej (scenariusz 1) | 20,19 m, |
| – długość dojścia po schodach (scenariusz 1) | 7,66 m, |
| – długość dojścia po drodze poziomej (scenariusz 2) | 13,71 m, |
| – długość dojścia po schodach (scenariusz 2) | 7,77 m. |

Przedszkole nr 2 jest budynkiem wykonanym w latach 90. XX wieku w technologii tradycyjnej, na planie prostokąta o wymiarach ok. 12 × 9 m. Pierwotnie przeznaczeniem budynku był budynek mieszkalny. Składa się on z dwóch kondygnacji nadziemnych oraz poddasza. Szerokość klatki schodowej w przedszkolu nr 2 wynosi 0,87 m, na drodze ewakuacyjnej występują dwie przeszkody: drzwi na klatkę schodową o szerokości 0,9 m oraz drzwi na zewnątrz budynku o szerokości 0,9 m.

Parametry ewakuacyjne przyjęte do obliczeń w przedszkolu nr 2:

- | | |
|---|---------|
| – długość dojścia po drodze poziomej (scenariusz 3) | 6,76 m, |
| – długość dojścia po schodach (scenariusz 3) | 7,35 m, |
| – długość dojścia po drodze poziomej (scenariusz 4) | 3,10 m, |
| – długość dojścia po schodach (scenariusz 4) | 2,45 m. |

Przedszkole nr 3 jest budynkiem wybudowanym w 2003 roku jako budynek mieszkalny. W 2007 roku przeszedł proces zmiany sposobu użytkowania wraz z dostosowaniem do wymagań dla budynku przedszkolnego. Przedmiotowy budynek ma trzy kondygnacje nadziemne (w tym poddasze użytkowe) oraz jedną

podziemną. Kształt budynku jest prostopadłościenny z dachem czterospadowym, wejścia do budynku znajdują się z każdej strony. Szerokość klatki schodowej w przedszkolu nr 3 wynosi 1,21 m, na drodze ewakuacyjnej występują dwie przeszkody: drzwi na klatkę schodową o szerokości 0,9 m oraz drzwi na zewnątrz budynku o szerokości 1,9 m.

Parametry ewakuacyjne przyjęte do obliczeń w przedszkolu nr 3:

– długość dojścia po drodze poziomej (scenariusz 5)	17,45 m,
– długość dojścia po schodach (scenariusz 5)	11,63 m,
– długość dojścia po drodze poziomej (scenariusz 6)	11,3 m,
– długość dojścia po schodach (scenariusz 6)	6,54 m.

3. Badania rzeczywistych czasów przemieszczania się

Pierwszym zamiarem było przebadanie 3 grup przedszkolnych, 3-latków, 4-latków i 5-latków. Po rozmowach z personelem przedszkoli i analizie problematyki, postanowiono ograniczyć badania do dwóch grup dzieci 4- i 5-letnich. W grupie dzieci 3-letnich może występować konieczność ewakuowania indywidualnego (technika ewakuacji stosowana w szpitalach i domach starców), w związku z czym badania tych trzech grup wiekowych nie byłyby możliwe do porównania. Dzieci z grupy wiekowej 4- i 5-latków są na tyle samodzielne, że mogą być ewakuowane w grupach kilkunastoosobowych pod kontrolną dwóch opiekunów. Występuje w tym zakresie różnica w stosunku do badań duńskich [4], gdzie z badań przemieszczania się po schodach wyeliminowano dzieci z grupy 2-latków, natomiast 3-latki poddawano badaniom (85% dzieci z tej grupy nie miało problemów z poruszaniem się samodzielnie po schodach).

Przeprowadzono pomiar czasów przemieszczania się dwukrotnie dla dwóch grup wiekowych w trzech przedszkolach (łącznie dwanaście przypadków):

- Ewakuacja grupy 16 dzieci 5-letnich z 2 kondygnacji przedszkola nr 1.
- Ewakuacja grupy 16 dzieci 4-letnich z 2 kondygnacji przedszkola nr 1.
- Ewakuacja grupy 14 dzieci 5-letnich z 3 kondygnacji przedszkola nr 2.
- Ewakuacja grupy 15 dzieci 4-letnich z 2 kondygnacji przedszkola nr 2.
- Ewakuacja grupy 15 dzieci 5-letnich z 3 kondygnacji przedszkola nr 3.
- Ewakuacja grupy 17 dzieci 4-letnich z 2 kondygnacji przedszkola nr 3.

Badaniom podlegał wyłącznie czas przemieszczania się, czyli czas od momentu rozpoczęcia ewakuacji do momentu opuszczenia budynku przez ostatnie dziecko. Według tych samych kryteriów przeprowadzono obliczenia analityczne oraz symulacje komputerowe. Badania przemieszczania się były zapowiedziane, dzieci rozpoczynały opuszczanie pomieszczeń od razu po usłyszeniu polecenia opuszczenia budynku wydawanego przez opiekunów.

Wyniki zmierzonych czasów przemieszczania się zawarto w tabeli 3.

Tabela 3. Zmierzone czasy przemieszczania się dzieci

Scenariusz	Rzeczywisty czas przemieszczania się			
	Próba 1	Próba 2	Różnica	Średnia
Scenariusz nr 1	86 s	72 s	19,40%	79,0 s
Scenariusz nr 2	88 s	71 s	23,90%	79,5 s
Scenariusz nr 3	78 s	69 s	13,00%	73,5 s
Scenariusz nr 4	77 s	71 s	8,40%	74,0 s
Scenariusz nr 5	91 s	72 s	26,40%	81,5 s
Scenariusz nr 6	78 s	74 s	5,40%	76,0 s

Źródło: Opracowanie własne.

Różnice między czasami w próbie pierwszej i drugiej wynoszą od 5,4 do 26,4%, wynikają one z przyswajania odpowiednich zachowań przez dzieci oraz personel w trakcie pierwszej próby. Po wykonaniu drugiej próby stwierdzono, że przeprowadzanie kolejnych jest bezzasadne. Do dalszej analizy przyjęto średnią czasów z obu prób.

4. Obliczenia czasów przemieszczania się według dostępnych metod analitycznych

Przeprowadzone obliczenia dotyczyły czasu przemieszczania się dzieci. Pozostałe czasy (detekcja, alarmowanie, rozpoznanie) nie były przedmiotem badań. Obliczenia czasów przemieszczania przeprowadza się w ten sam sposób dla standardów brytyjskiego [5] i nowozelandzkiego [7]. W celu uwzględnienia specyfiki budynku przedszkolnego, czasy przejścia i przepływu będą ze sobą sumowane. Wynika to z przeprowadzonych obserwacji w czasie badań:

- dzieci przemieszczają się samodzielnie do momentu wystąpienia przeszkody na drodze ewakuacyjnej (drzwi), a następnie czekają na instrukcje od opiekuna,
- po uzyskaniu polecenia (popartego otwarciem drzwi przez opiekuna) poruszają się płynnie do wystąpienia kolejnej przeszkody na drodze.

Zjawisko to można uznać za odzwierciedlenie tworzenia się zatorów przemieszczającego się tłumu w kierunku przeszkody wynikających z zagęszczenia ludzi. Jak pokazała analiza porównawcza wszystkich czasów przemieszczania się, przyjęte założenie okazało się słuszne. Między czasami zmierzonymi oraz wynikami przeprowadzonych obliczeń, występujące różnice są mniejsze, niż w przypadku przyjęcia zasady wyboru większego z dwóch czasów (przejścia i przepływu). Przeprowadzono łącznie sześć serii obliczeń, zgodnie ze scenariuszami opisanymi w poprzednim punkcie, wykorzystano zależności 1, 2 i 3 opisane poniżej.

Czas przejścia

Czas przejścia stanowi iloraz długości drogi ewakuacyjnej oraz prędkości poruszania się (zależność 1).

$$t_{\text{przejścia}} = \frac{L}{S} \quad (1)$$

gdzie:

L – długość drogi ewakuacyjnej,

S – prędkość poruszania się.

W celu określenia prędkości poruszania się należy skorzystać z zależności 2:

$$S = K - a \cdot K \cdot D \quad (2)$$

gdzie:

S – prędkość poruszania się wzdłuż drogi ewakuacyjnej,

K – współczynnik prędkości,

a – wartość stała = 0,266 [m²/osoba],

D – gęstość [l. osób/m²].

Maksymalne wartości prędkości przemieszczania się osiągane są w przypadku gęstości tłumu do wartości 0,54 osoby/m², natomiast wraz ze wzrostem gęstości powyżej tej wartości prędkość przejścia maleje aż do wartości 3,8 osoby/m², przy której zakłada się zatrzymanie tłumu [3]. Do obliczeń przyjęto gęstość na poziomie 0,5 osoby/m² w przypadku przemieszczania się i 1,9 osoby/m² w przypadku przepływu. Bardzo mała gęstość zaludnienia w przedszkolu (kilkanaście dzieci w każdym scenariuszu) pozwala na przyjęcie gęstości, przy których prędkość przemieszczania się jest największa. Współczynniki prędkości dostępne w literaturze dla osób dorosłych [6] przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wartości współczynnika K dla różnych rodzajów drogi ewakuacyjnej

Rodzaj drogi ewakuacyjnej			Współczynnik prędkości [m/s]
Korytarze, przejścia, rampy, hole			1,40
Schody	wysokość	szerokość	–
S 1	19,0 cm	25,4 cm	1,00
S 2	17,2 cm	27,9 cm	1,08
S 3	16,5 cm	30,5 cm	1,16
S 4	16,5 cm	33,0 cm	1,23

Źródło: European Guideline [6].

Przeprowadzono dwie serie obliczeń dla każdego scenariusza wykorzystując w pierwszej serii prędkość dostępną w literaturze dla osób dorosłych, w drugiej prędkość przemieszczania się dzieci. W pierwszej serii obliczeń przyjęto prędkości obliczone według danych z tabeli 4, przyjmując współczynnik prędkości $K=1,4$ dla drogi poziomej oraz $K=1,16$ dla schodów (z uwagi na parametry najbliższe wymiarom schodów w analizowanych budynkach). W wyniku obliczeń

otrzymano wartości prędkości dla osób dorosłych 1,21 m/s dla drogi poziomej oraz 1,01 m/s dla schodów. W drugiej serii obliczeń wykorzystano dane literaturowe [4] dotyczące prędkości przemieszczania się dzieci, które wynoszą odpowiednio 0,84 m/s i 0,41 m/s.

Czas przepływu

Czas przepływu stanowi iloraz liczby osób oraz specyficznego przepływu i efektywnej szerokości drogi ewakuacyjnej (zależność 3).

$$t_{\text{przepływu}} = \frac{N}{Q W_e} \quad (3)$$

gdzie:

N – liczba osób,

Q – specyficzny przepływ,

W_e – efektywna szerokość drogi ewakuacyjnej.

Maksymalne wartości specyficznego przepływu (liczby osób przepływających przez efektywną szerokość drogi na sekundę) zawarto w tabeli 5.

Tabela 5. Wartości przepływu specyficznego Q dla różnych rodzajów drogi ewakuacyjnej

Rodzaj drogi ewakuacyjnej			Przepływ specyficzny [l. osób/sm]
Korytarze, przejścia, rampy, hole			1,32
Schody	wysokość	szerokość	–
S 1	19,0 cm	25,4 cm	0,94
S 2	17,2 cm	27,9 cm	1,01
S 3	16,5 cm	30,5 cm	1,09
S 4	16,5 cm	33,0 cm	1,16

Źródło: European Guideline [6].

Podane w niej dane są wartościami maksymalnymi. Wraz ze wzrostem gęstości, wartości przepływu specyficznego rosną aż do wartości 1,9 osoby/m², gdzie przepływ specyficzny osiąga maksimum (wartości podane w tabeli). Powyżej tej wartości specyficzny przepływ maleje (z uwagi na zwiększającą się gęstość tłumu i trudności w pokonywaniu przewężeń), aż do gęstości 3,8 osoby/m², przy której zakłada się zatrzymanie tłumu. Przeprowadzono dwie serie obliczeń dla każdego scenariusza, wykorzystując w pierwszej serii przepływ specyficzny dostępny w literaturze dla osób dorosłych, a w drugiej przepływ specyficzny dla dzieci. W pierwszej serii obliczeń przyjęto przepływ specyficzny według danych z tabeli 4, przyjmując $Q=1,32$ osoby/sm. W drugiej serii wykorzystano dane literaturowe [4] dotyczące przepływu specyficznego dla dzieci $Q=1,10$ osoby/sm. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 6].

Tabela 6. Obliczone czasy przemieszczania się dzieci

Scenariusz	Czas przemieszczania się (prędkości według [6])	Czas przemieszczania się (prędkości według [4])
Scenariusz nr 1	47 s	70,43 s
Scenariusz nr 2	42 s	62,71 s
Scenariusz nr 3	41 s	59,92 s
Scenariusz nr 4	35 s	43,03 s
Scenariusz nr 5	48 s	75,11 s
Scenariusz nr 6	40 s	58,84 s

Źródło: Opracowanie własne.

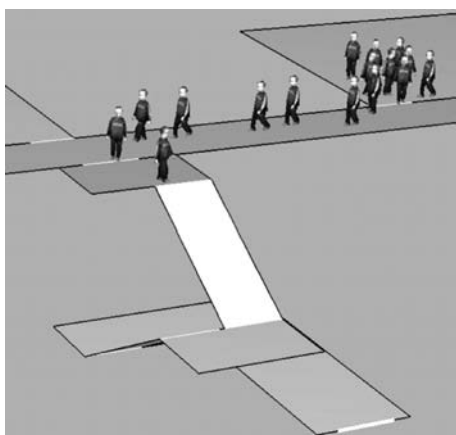
Do dalszej analizy wykorzystano wyniki charakterystyczne dla dzieci, bazujące na danych literaturowych [4].

5. Obliczenia czasów przemieszczania się przy użyciu programu Pathfinder

Przeprowadzono łącznie 6 serii symulacji ewakuacji, według opisanych wcześniej scenariuszy.

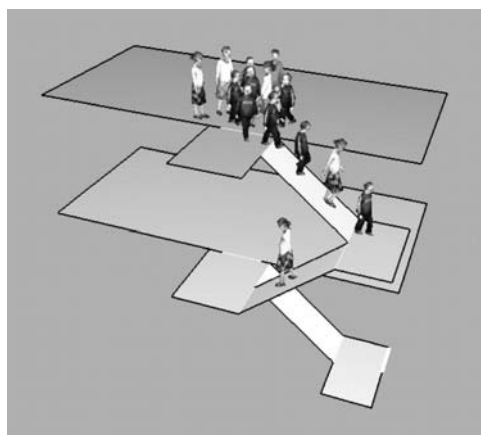
Do symulowanych scenariuszy ewakuacji przyjęto średnią prędkość poruszania się dzieci 0,84 m/s [4], odchylenie standardowe 0,25 m/s [4], przedział możliwych prędkości dzieci 0,2 – 1,2 m/s.

Na rysunkach 1, 2 i 3 przedstawiono widok modeli przedszkoli wytypowanych do badań, w trakcie symulowania poszczególnych scenariuszy przemieszczania się dzieci.



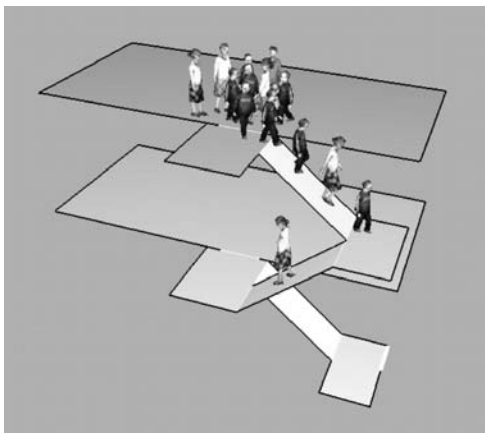
Rys. 1. Widok ekranu w programie Pathfinder w trakcie scenariusza nr 1

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 2. Widok ekranu w programie Pathfinder w trakcie scenariusza nr 3

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 3. Widok ekranu w programie Pathfinder w trakcie scenariusza nr 5

Źródło: Opracowanie własne.

Obliczone przez program Pathfinder czasy przemieszczania się dzieci w trakcie opuszczania budynków według poszczególnych scenariuszy zawarto w tabeli 7.

Tabela 7. Czasy przemieszczania się dzieci będące wynikiem symulacji

Scenariusz	Czas przemieszczania się według programu Pathfinder
Scenariusz nr 1	91,1 s
Scenariusz nr 2	90,3 s
Scenariusz nr 3	59,7 s
Scenariusz nr 4	47,3 s
Scenariusz nr 5	99,8 s
Scenariusz nr 6	120,3 s

Źródło: Opracowanie własne.

6. Porównanie otrzymanych wyników

Porównanie wyników badań rzeczywistych oraz obliczeń analitycznych i według programu symulacyjnego zawarto w tabeli 8.

Tabela 8. Porównanie czasów przemieszczania się uzyskanych z różnych źródeł

Scenariusz	Czas przemieszczania się [s]		
	Badania rzeczywiste	Obliczenia analityczne	Program Pathfinder
Scenariusz nr 1	79,0	70,43	91,1
Scenariusz nr 2	79,5	62,71	90,3
Scenariusz nr 3	73,5	59,92	59,7
Scenariusz nr 4	74,0	43,03	47,3
Scenariusz nr 5	81,5	75,11	99,8
Scenariusz nr 6	76,0	58,84	120,3

Źródło: Opracowanie własne.

Wnioski

Analiza wyników przeprowadzonych badań wykazała różnice między wynikami otrzymanymi z różnych metod, które są one możliwe do wyjaśnienia. Występujące różnice między pomiarem rzeczywistego czasu przemieszczania się a obliczeniami analitycznymi wynoszą od 8 do 29% (za wyjątkiem scenariusza 4, gdzie różnica ta wynosi 71%). Różnice między pomiarem czasu rzeczywistego a symulacją komputerową wynoszą od 12 do 37% (w scenariuszu 4 wynosi 56%).

Według scenariusza nr 4, w celu opuszczenia budynku dzieci pokonywały jeden bieg schodów i dla czasu przemieszczania się kluczowa była organizacja ruchu dzieci (niemożliwa do odzwierciedlenia w obliczeniach oraz w symulacji). Zaobserwowano, iż dzieci przemieszczają się samodzielnie do momentu wystąpienia przeszkody na drodze ewakuacyjnej, a następnie czekają na instrukcje od opiekuna i dopiero po uzyskaniu polecenia poruszają się dalej. Scenariusz nr 4 z powodu krótkich etapów drogi między przeszkodami jest szczególnie narażony na występowanie różnic między czasami obliczonymi a rzeczywistym czasem przemieszczania się bez zachowania ciągłości ruchu.

Etapowe pokonywanie poszczególnych etapów drogi ewakuacyjnej (występujące przestoje) w trakcie przemieszczania się stanowi przyczynę różnic między wynikami zmierzonymi a obliczonymi w każdym przypadku, natomiast w przypadku scenariusza nr 4 waga tego czynnika jest kluczowa. Różnice między rzeczywistym czasem przemieszczania się a wynikiem obliczeń analitycznych wynikają z uproszczeń i uogólnień związanych między innymi z przyjmowaniem stałych, jednakowych wartości prędkości oraz gęstości przemieszczających się osób. W przypadku komputerowej symulacji przemieszczania się uogólnień i uproszczeń jest mniej, ale również zaobserwowano pewne ograniczenia tej metody. Najbardziej widoczną obserwacją, która może być przyczyną różnic między wynikami symulacji a zmierzonymi wartościami (oprócz wymienionych wcześniej) jest wpływ zachowania się jednostki na przemieszczanie się wszystkich dzieci znajdujących się za tą jednostką. Jeżeli jednej z pierwszych ewakuowanych osób została przyporządkowana niska prędkość poruszania się (w symulacji wykorzystano rozkład prędkości) to wszystkie osoby za nią poruszały się również powoli (brak możliwości wyprzedzania na wąskich schodach) i rzutowało to w znaczny sposób na końcowe wyniki.

Przeprowadzone badania wykazały, iż między rzeczywistymi, zmierzonymi czasami przemieszczania się a wynikami obliczeń analitycznych oraz komputerowych symulacji występują różnice. Różnice te można wytłumaczyć po analizie zachowania się dzieci i opiekunów w trakcie rzeczywistego przemieszczania się w przedszkolach oraz porównując przyjęte założenia w metodach obliczeniowych. Obydwie metody posiadają zatem potencjał aplikacyjny do oceny bezpieczeństwa ewakuacji w trakcie analizy bezpieczeństwa pożarowego budynków przedszkolnych, ale należy możliwie najbardziej optymalnie dopasować przyjęte

założenia do warunków rzeczywistych. W tym celu możliwe jest wykorzystanie między innymi wniosków z niniejszego artykułu.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2012 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU 2002 nr 75, poz. 690).
- [2] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (DzU 2010 nr 109, poz. 719).
- [3] Pecio M., Dzień G., Łącki K.: Czas ewakuacji według norm brytyjskich i nowozelandzkich. *Ochrona Przeciwpożarowa* 2015, nr 3(53), ISSN 1644-6038, str. 4-9.
- [4] Aldís Rún Lárusdóttir: Evacuation of Children. Focusing on daycare centers and elementary schools, Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, 2013.
- [5] PD 7974-6:2004. The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Human factors. Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6).
- [6] CFFPA-E No. 19:2009. European Guideline. Fire safety engineering concerning evacuation from buildings, Zurich, 2009.
- [7] C/VM2. Verification Method: Framework for Fire Safety Design. For New Zealand Building Code Clauses C1-C6 Protection from Fire. Wellington, 2012.
- [8] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition. National Fire Protection Association, Quincy MA, 2002.