



Instytut Techniki Budowlanej

Marcin Franciszek Cisek

**STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**OPTYMALIZACJA SYSTEMU EWAKUACJI  
Z BUDYNKÓW UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ  
W WARUNKACH ZAGROŻENIA POŻAROWEGO**

Rozprawa doktorska przygotowana pod kierunkiem:

**Promotor**

prof. dr hab. Jerzy Wolanin

***Promotor pomocniczy***

dr inż. Paweł Sulik

**Warszawa, rok 2019**

## STRESZCZENIE ROZPRAWY

Bezpieczeństwo pożarowe budynków użyteczności publicznej w rozumieniu wymagań podstawowych Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady Europu Nr 305/2011 w warunkach polskich standardowo zapewniane jest poprzez stosowanie przepisów prawa począwszy od Ustawy Prawo Budowlane po odpowiednie rozporządzenia. Stosowanie tych przepisów prawa w procesie projektowania budynków powinno gwarantować odpowiedni oraz akceptowalny poziom bezpieczeństwa dla ludzi, będących późniejszymi użytkownikami tych budynków. Jednym z kluczowych wymagań bezpieczeństwa pożarowego jest konieczność zapewnienia takiego zaprojektowania i wykonania obiektów budowlanych, aby w przypadku pożaru, osoby znajdujące się wewnątrz budynku mogły go opuścić. Możliwe jest ujęcie aspektu ewakuacji, jako systemu ewakuacji i zaproponowanie optymalizacji dla całego systemu lub dla, co najmniej jednego elementu systemu. System ewakuacji jest określonym zbiorem elementów ludzkich, technicznych i organizacyjnych połączonych regulacjami normatywnymi, spójnie ukierunkowany na przemieszczanie osób poza przestrzeń zagrożoną oddziaływaniem pożaru. Wybór tematu optymalizacji systemu ewakuacji z budynków użyteczności publicznej w warunkach zagrożenia pożarowego przez autora dysertacji, wynika z potrzeby zebrania w jednym miejscu doświadczeń i wiedzy z zakresu przedmiotowego problemu oraz połączenia ich z wnioskami, jakie płyną z badań nad wpływem charakterystyki budynku na jego użytkowników, możliwości zastosowania symulacji komputerowych, również ze szczególnym uwzględnieniem nowoczesnych metod dynamicznego oznakowania dróg ewakuacyjnych.

W dysertacji zostały opisane uwarunkowania formalno-prawne procesu ewakuacji, z uwzględnieniem zarówno rysu historycznego, jak i ewolucji przepisów technicznych w tym zakresie. Opisany został obowiązujący stan prawny oraz możliwość odstąpienia od zapisów istniejących przepisów techniczno-budowlanych. Odstąpienie od przepisów w drodze administracyjnej wiąże się z udowodnieniem odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa przyjętych rozwiązań w projektowanych lub istniejących budynkach użyteczności publicznej. W tym celu, w pracy doktorskiej, opisane zostało podejście projektowania funkcjonalnego, w którym kryterium akceptowalności stanowi porównanie dwóch czasów: dostępnego czasu bezpiecznej ewakuacji i wymaganego czasu bezpiecznej ewakuacji. Podejście funkcjonalne wymaga opracowania scenariuszy zdarzeń, które mogą się wydarzyć w obiekcie w przypadku wystąpienia pożaru i dla których sprawdzane jest powyższe kryterium. Aby możliwe było



opisanie tych scenariuszy konieczne jest poznanie charakterystyki ludzi, będących użytkownikami obiektu, charakterystyki obiektu wraz z jego wpływem na ludzi oraz zidentyfikowanie możliwych zagrożeń. Wszystkie te elementy podejścia funkcjonalnego podlegają ocenie łącznej w postaci analiz inżynierskich i wyznaczeniu marginesu czasu pomiędzy dostępnym i wymaganym czasem bezpiecznej ewakuacji, który wskazuje poziom bezpieczeństwa ewakuacji ludzi z budynku. Szczegółowe analizy poziomu bezpieczeństwa dla budynków użyteczności publicznej wynikają zatem ze stosowania narzędzi inżynierskich, polegających na modelowaniu pożaru oraz przemieszczania się ludzi. W niniejszej pracy doktorskiej opisano przykłady programów komputerowych służących do symulowania rozwoju pożaru oraz ewakuacji ludzi z budynków użyteczności publicznej.

W ostatniej części rozprawy dokonano analizy możliwości optymalizacji systemu ewakuacji. Analiza ta wskazała, że właściwym kierunkiem optymalizacji systemu ewakuacji jest oddziaływanie na rozwiązania techniczne budynku. Przedstawiono oryginalne rozwiązanie optymalizacji systemu ewakuacji poprzez zastosowanie dynamicznego systemu kierowania ewakuacją. Dynamiczny system kierowania ewakuacją umożliwia akwizycję danych o przemieszczaniu się ludzi i rozwoju zagrożenia oraz proponowanie kierunków ewakuacji w budynku w czasie rzeczywistym. Rozwiązanie zostało zweryfikowane za pomocą dedykowanego, dwupoziomowego oprogramowania komputerowego, którego warstwa decyzyjna modelowała system kierowania ewakuacją, podczas gdy warstwa symulacyjna stanowiła model rzeczywistego budynku. Takie rozwiązanie pozwoliło na weryfikację dynamicznego systemu kierowania ewakuacją oraz na ocenę możliwości optymalizacji systemu ewakuacji, bliską warunkom rzeczywistym.

Na podstawie wykonanego eksperymentu otrzymano wyniki wymaganego czasu bezpiecznej ewakuacji dla szeregu scenariuszy uwzględniających zróżnicowaną wysokość budynku, różną liczbę klatek schodowych oraz zróżnicowany stopień wykorzystania dynamicznego systemu kierowania ewakuacją przez ewakuujących się ludzi. W ostatnim etapie badania uwzględniono również możliwość oddziaływania zagrożenia pożarowego na czas ewakuacji.

Dynamiczny system kierowania ewakuacją dostosowywał się do poszczególnych scenariuszy. W przypadku scenariuszy, w których od początku zakładane były korzystne warunki dla ewakuacji (brak zagrożenia, równomierne rozmieszczenie ludzi) system ten nie wpływał znacząco na poprawę czasu ewakuacji, ponieważ jest był on bliski optymalnemu. W przypadku scenariuszy trudnych (zlokalizowane zagrożenie, nierównomierne

rozmieszczenie ludzi w budynku), dynamiczny system kierowania ewakuacją redukuje wymagany czas bezpiecznej ewakuacji do wartości zbliżonej do wartości czasu, jak przy równomiernym rozmieszczeniu ludzi w budynku. Na podstawie obserwacji poczynionych w czasie wykonywania eksperymentu przyjęto, że optymalny czas ewakuacji jest osiągany, gdy nie występuje zagrożenie oraz gdy ludzie są równomiernie rozmieszczeni przed rozpoczęciem ewakuacji. Podsumowując wynik eksperymentu, możliwe jest stwierdzenie, że zaproponowany dynamiczny system kierowania ewakuacją stanowi „wyrównanie szans”. W przypadku wystąpienia niekorzystnego scenariusza zdarzeń w czasie pożaru w budynku, dynamiczny system kierowania ewakuacją zmniejsza wymagany czas bezpiecznej ewakuacji do poziomu odpowiadającego scenariuszowi, który można uznać za optymalny. Optymalizacja systemu ewakuacji nie funkcjonuje jednak odpowiednio, gdy wskazywane zalecane kierunki ewakuacji nie są respektowane przez ewakuujących się ludzi.

Zamierzeniem autora dysertacji było umożliwienie optymalizacji systemu ewakuacji poprzez wypracowanie modelu dynamicznego systemu kierowania ewakuacją, który uwzględniając uwarunkowania formalno-prawne oraz praktyczne możliwości zastosowania będzie mógł być zaimplementowany w nowoprojektowanych i istniejących budynkach użyteczności publicznej. Opisano również typy budynków, które w szczególności mogłyby skorzystać na zaimplementowaniu opracowanego systemu kierowania ewakuacją. Byłyby to budynki wielokondygnacyjne z wieloma wyjściami i z co najmniej dwoma klatkami schodowymi, w których spodziewane jest nierównomierne rozlokowanie dużej liczby ludzi oraz nierównomierne kierunkowanie się ludzi do wyjść ewakuacyjnych.

Możliwe są dalsze prace w zakresie optymalizacji systemu ewakuacji w przyszłości. Powinny one polegać w szczególności na optymalizacji ewakuacji sekwencyjnej z budynków wysokich i wysokościowych. Poczynione działania, które zostały zaprezentowane w dysertacji, stanowią część szerszego planu, mającego na celu zwiększenie bezpieczeństwa pożarowego w budynkach użyteczności publicznej.



## SŁOWA KLUCZOWE

ewakuacja ludzi,  
bezpieczeństwo pożarowe budynku,  
bezpieczeństwo ewakuacji,  
oznakowanie dynamiczne,  
kierowanie ewakuacją,  
optymalizacja ewakuacji,  
projektowanie funkcjonalne.





## ABSTRACT OF DISSERTATION

Fire safety of public utility buildings within the meaning of the basic requirements of the Regulation of the European Parliament and Council of Europe No. 305/2011 in Polish conditions is normally provided through the application of legal provisions, starting from the Construction Law Act to relevant regulations. The application of these laws in the design process of buildings should guarantee an appropriate and acceptable level of security for people who are later users of these buildings. One of the key fire safety requirements is the need to ensure such design and construction of buildings, so that in the event of a fire, people inside the building can leave it. It is possible to include the evacuation aspect as an evacuation system and propose optimization for the entire system or for at least one element of the system. The evacuation system is a specific set of human, technical and organizational elements connected with normative regulations, coherently directed at moving people out of the space threatened by the fire. The choice of the topic of optimization of the evacuation system from public buildings in conditions of fire hazard made by the author of the dissertation, results from the need to gather in one place the experience and knowledge of the problem and combine them with the conclusions that flow from research on the impact of building characteristics on the users, possibilities applications of computer simulations, also with particular emphasis on modern methods of dynamic signage of escape routes.

The dissertation describes the formal and legal conditions of the evacuation process, taking into account both the historical outline and the evolution of technical regulations in this area. The applicable legal status and the possibility to withdraw from the provisions of the existing technical and construction regulations have been described. Withdrawal from regulations by means of administrative means is associated with proving appropriate level of safety of the adopted solutions in designed or existing public utility buildings. The dissertation describes a functional design approach, in which the criterion of acceptability is the comparison of two times: the available safe evacuation time and the required safe evacuation time. The performance-based approach requires the development of scenarios of events that may happen in the building in the event of a fire and for which the above criterion is checked. To be able to describe these scenarios, it is necessary to know the characteristics of people, the characteristics of the building and its impact on people and to identify possible threats. All these elements of the functional approach are subject to a joint assessment in the form of engineering analyzes and determining the time margin between the available and required

time of safe evacuation, which indicates the safety level of evacuation of people from the building. Detailed analyzes of the level of security for public buildings result from the use of engineering tools based on fire modeling and human movement modeling. This dissertation describes examples of computer programs used to simulate fire development and evacuation people from public buildings.

In the last part of the dissertation, the possibilities of optimization of the evacuation system were analyzed. This analysis indicated that the right direction of the optimization of the evacuation system is the influence on the technical solutions of the building. The original solution for the optimization of the evacuation system was presented through the use of a dynamic evacuation guidance system. The dynamic evacuation guidance system enables the acquisition of data of human movement and the development of the threat, and proposing evacuation directions in the building in real time. The solution was verified using a dedicated, two-level computer software, whose decision layer modeled the evacuation guidance system, while the simulation layer was a model of the actual building. This solution allowed to verify the dynamic evacuation guidance system and to evaluate the possibilities of optimizing the evacuation system, close to real conditions.

Based on the performed experiment, the results of the required time of safe evacuation were obtained for a number of scenarios taking into account the different building heights, different staircases, and the varying use of the dynamic evacuation guidance system by evacuees. In the last stage of the study, the possibility of fire hazard impact on the time of evacuation was also taken into account.

The dynamic evacuation guidance system adapted to individual scenarios. In the case of scenarios in which favorable conditions for evacuation were assumed from the beginning (no danger, even distribution of people), this system did not significantly improve the evacuation time, because it was close to the optimal one. In the case of difficult scenarios (localized threat, uneven distribution of people in the building), a dynamic evacuation guidance system reduced the required time of safe evacuation to a value close to the value of time, as with the even distribution of people in the building. Based on the observations made during the experiment, it was assumed that the optimal evacuation time is achieved when there is no danger and when people are evenly distributed before starting the evacuation. Summing up the result of the experiment, it is possible to state that the proposed dynamic evacuation guidance system is "equaling opportunities". In case of an unfavorable scenario of events



during a fire in the building, the dynamic evacuation guidance system reduces the required time of safe evacuation to the level corresponding to the scenario, which can be considered as optimal. However, the optimization of the evacuation system does not function adequately when the indicated recommended evacuation directions are not respected by evacuees.

The intention of the author of the dissertation was to enable the optimization of the evacuation system by developing a model of a dynamic evacuation guidance system, which, taking into account the formal and legal conditions and practical application possibilities, could be implemented in newly designed and existing public buildings. Types of buildings have also been described, which in particular could benefit from the implementation of developed dynamic evacuation guidance systems. These would be multi-story buildings with many exits and with at least two staircases where uneven distribution of a large number of people is expected and uneven directions of people to the evacuation exits.

Further work is possible to optimize the evacuation system in future. They should include in particular optimization of sequential evacuation from high and high-rise buildings. The actions taken, which were presented in the dissertation, form part of a wider plan aimed at increasing fire safety in public buildings.





## KEY WORDS

people evacuation,

building fire safety,

evacuation safety,

dynamic signage,

evacuation guidance,

evacuation time optimizing,

performance-based design.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized first name and a last name, located on the right side of the page.