



Dorota ŁOZOWICKA

SYMULACYJNE BADANIA EWAKUACJI W BUDOWNICTWIE LĄDOWYM ORAZ MOŻLIWOŚCI ICH ZASTOSOWANIA DLA STATKÓW

Streszczenie

W celu przygotowania się do ewentualnej ewakuacji ze statków już na etapie ich projektowania sprawdza się szereg czynników mogących mieć znaczący wpływ na jej przebieg. Większość prowadzonych aktualnie prac polega na komputerowym symulowaniu ruchu ludzi oraz przebiegu ewakuacji. W artykule wyodrębnione zostały czynniki charakterystyczne dla ewakuacji w warunkach morskich, które należy uwzględnić chcąc dostosować modele używane w budownictwie lądowym do zastosowania na statkach. W kolejnym rozdziale zostają scharakteryzowane przykładowo wybrane modele symulacyjne wykorzystywane do obliczeń czasu ewakuacji ze statków.

WSTĘP

Współczesne jednostki pasażerskie, a w szczególności duże statki wycieczkowe coraz bardziej przypominają luksusowe pływające miasta. Można na nich spotkać wiele różnorodnych pomieszczeń typu restauracje, sale kinowe, boiska, baseny, kasyna czy też dyskoteki. Tak duża liczba pomieszczeń i łączących je ciągów komunikacyjnych nie wpływa pozytywnie na bezpieczeństwo podróżujących a tym bardziej na szybkość ewentualnej ewakuacji z takich jednostek. W celu przygotowania się do ewakuacji ze statków już na etapie ich projektowania sprawdza się szereg czynników mogących mieć znaczący wpływ na jej przebieg. Większość prowadzonych aktualnie prac polega na komputerowym symulowaniu ruchu ludzi oraz przebiegu ewakuacji. W modelach ewakuacji bierze się pod uwagę jak największą liczbę czynników mogących wpłynąć na czas ewakuacji.

Dla zwiększenia precyzyjności określenia przebiegu ewakuacji w modelach uwzględnia się między innymi:

- warunki środowiska, w jakich odbywa się ewakuacja (ruch statku na fali, warunki - pożaru, przechył statku itp.);
- obecność przeszkód (np. niedostępność dróg ewakuacyjnych, ruch przeciwbieżny itp.);
- czynnik ludzki (wiek, płeć, znajomość otoczenia, kondycja fizyczna i psychiczna, itp.).

Zarówno w budownictwie lądowym, jak i okrętownictwie podejmuje się szereg prób znalezienia odpowiednich metod do szacowania czasu ewakuacji. Przenosząc wyniki badań osiągnięte dla budynków lądowych (np. typu biurowce czy centra handlowe) do zastosowań na obiektach morskich należy uwzględnić specyficzne warunki występujące na statkach.

1. CZYNNIKI CHARAKTERYSTYCZNE DLA EWAKUACJI W WARUNKACH MORSKICH

Adaptując modele ruchu ludzi w obiektach lądowych do warunków morskich należy uwzględnić dodatkowo wpływ czynników wynikających z przebywania w tak specyficznym środowisku, jakim jest statek. Prędkość przemieszczania się zarówno grup ludzi jak i jednostek może znacząco wpłynąć na przebieg całego procesu ewakuacji. Prędkość pojedynczej jednostki może ulec zmniejszeniu w zmieniającym się dynamicznie środowisku. Uwzględnić należy przede wszystkim ruch statku na fali i co za tym idzie wpływ kołysania.

Innym problemem może być przechył statku stanowiący utrudnienie dla przemieszczających się ludzi. W momencie, gdy statek zostaje uszkodzony i zalana zostaje jego część ulega on przechyłowi. Samo środowisko statku może w tym momencie stanowić utrudnienie: trudność z otwarciem drzwi, wspięciem się na schody, niekontrolowane przemieszczanie się nieprzymocowanych do podłoża przedmiotów. Dodatkowym efektem przechyłu może być niekorzystne oddziaływanie na organizm człowieka (problem ze zmysłem równowagi), co może w konsekwencji doprowadzić do utraty orientacji. Należy również uwzględnić możliwość występowania powierzchni niestabilnych typu platformy czy rampy.

Kolejnym problemem jest fakt, że rozkład korytarzy i dróg ewakuacji jest nieznanymi dla pasażerów, dla każdego statku jest on inny i dla przeciętnego pasażera jest bardziej niecodzienny niż napotykanym np. w biurówcu czy też centrum handlowym.

Pewnym utrudnieniem może być to, że pasażerowie i załoga bywają różnojęzyczni, wywodzą się z różnych kultur, mogą w związku z tym wystąpić problemy z komunikacją utrudniające ewakuacje.

Ewakuację w warunkach morskich cechuje też to, że statek jest osamotniony na morzu; gdy ludzie opuszczają płonący budynek, na ulicy są już bezpieczni, natomiast opuszczenie statku nie gwarantuje bezpieczeństwa. Rozbitkowie muszą zostać odnalezieni przez inne jednostki pływające lub jednostki ratownicze oraz przewiezieni na bezpieczne miejsce.

W kolejnym rozdziale dokonany zostanie krótki przegląd modeli ewakuacji, które uwzględniają warunki panujące na morzu i są wykorzystywane do obliczeń czasu ewakuacji ze statków.

2. PRZYKŁADY MODELI EWAKUACJI WYKORZYSTYWANYCH DO OBLICZEŃ CZASU EWAKUACJI ZE STATKÓW

2.1. Maritime Exodus

Program do modelowania ewakuacji EXODUS został opracowany na Uniwersytecie Greenwich. Program ma zastosowanie w różnych gałęziach transportu (lotniczy, kolejowy, morski) a także służy do analizy ewakuacji z budynków lądowych. Do analizy ewakuacji ze statków służy maritime EXODUS. Są w nim rozważane są następujące interakcje: człowiek – człowiek, człowiek – pożar, człowiek – struktura.

Model składa się z następujących pod-modeli oddziałujących na siebie wzajemnie celem przekazywania informacji o procesie symulacji. Pod-model ruchu kontroluje ruch fizyczny poszczególnych osób od ich aktualnej pozycji do najbardziej odpowiedniego położenia lub nadzoruje okres oczekiwania. Ruch może obejmować takie zachowania jak np. wyprzedzanie. Pod-model zachowania określa reakcję jednostek na bieżącą sytuację na podstawie ich cech osobowych. Pod-model przekazuje tę decyzję do pod-modelu ruchu. Pod-model określa zachowanie na dwóch poziomach- globalnym i lokalnym. Lokalny poziom określa reakcję jednostki na ich sytuację lokalną, podczas gdy globalny stanowi część ogólnej strategii

stosowanej przez jednostkę. Może to obejmować takie zachowanie jak wyjście przez najbliższe lub najbardziej znane wyjście. Pod-model użytkownika opisuje zbiór atrybutów i zmiennych, takich jak płeć, wiek, maksymalna prędkość, czas reakcji, sprawność, itp. Niektóre z atrybutów są stałe przez cały czas trwania symulacji, podczas gdy inne są dynamiczne, zmieniają się w wyniku danych wejściowych z innych pod-modeli. Pod-model zagrożeń kontroluje zagrożenia środowiska fizycznego. Dystrybuuje wcześniej ustalone zagrożenia pożarowe takie jak temperatura, dym i toksyczne produkty oraz kontroluje otwarcia i zamknięcia wyjść. Pod-model toksyczności określa wpływ na poszczególne osoby toksycznych produktów dystrybuowanych przez pod-model zagrożenia. Efekty te są przekazywane pod-modelowi zachowań, w którym ustalany jest ruch poszczególnych jednostek [1].

2.2. ANEAS

W oparciu o wyniki projektu BY-PASS instytut TraffGo (Niemcy) stworzył narzędzia do symulacji ewakuacji pod nazwą PedGo. Podstawowe funkcje AENEAS są oparte na modelu PedGo jednakże posiada on dodatkowe funkcje uwzględniające specyfikę ewakuacji w warunkach morskich. Model ten spełnia wymagania Międzynarodowej Organizacji Morskiej i posiada międzynarodowy certyfikat niemieckiej administracji morskiej BG Verkehr.

Zapis struktury w modelu przyjmuje postać siatki dzielącej plan pomieszczeń na sieć kwadratowych komórek o boku równym 0,4 metra. Osoba modelowana znajduje się wewnątrz jednej komórki i w podczas symulacji przemieszcza się z jednej do drugiej komórki zgodnie z założonym kierunkiem ewakuacji.

W programie tym wszystkim osobom ewakuacji odpowiada jeden zestaw zasad związanych z przemieszczaniem się. W modelu tym wykorzystuje się sześć parametrów charakteryzujących zdolności osób modelowanych: maksymalną prędkość przemieszczania się, cierpliwość, reakcję, zwłokę, odchylenie oraz inercję. Każdemu z parametrów przyporządkowuje się wartość maksymalną, minimalną i średnią, oraz odchylenie standardowe celem dystrybucji pomiędzy poszczególne osoby symulacji [3].

2.3. EGRESS

Celem tego modelu jest ustalenie przebiegu ewakuacji tłumu ludzi w różnych sytuacjach oraz obiektach takich jak teatry, budynki biurowe, dworce kolejowe a także statki. Model ten zaliczamy do grupy modeli behawioralnych. Plan budynku jest podzielony na komórki, które są równoważne pod względem wielkości minimalnej powierzchni zajmowanej przez pasażerów. Komórki są sześciokątne. W modelu przydziela się domyślnie 5 osób na metr kwadratowy powierzchni. Wielkość ta może być modyfikowana, jeżeli symuluje się przebieg ewakuacji z dużych obiektów itp.

Ruchy każdego z pasażerów są starannie monitorowane podczas symulacji. Każdy ma też pewne cele i określony okres czasu na wypełnienie tego celu. Przemieszczanie się po siatce planu ewakuacyjnego jest również indywidualne. W modelu ustalony jest algorytm znajdowania trasy, który określa odległość między każdą komórkę na planie do każdego określonego regionu lub wyjścia. Zachowanie uczestników ewakuacji opiera się na warunku, że dopóki osiągnięcie celu jest możliwe, dążą oni do niego. Możliwa jest zmiana celu w trakcie ewakuacji. Na osiągnięcie każdego z celów (na przykład dotarcie członka załogi w ruchu przeciwbieżnym do źródła pożaru) jest przypisany okres czasu, w którym powinien być zrealizowany. Jeśli osiągnięcie celu nie jest już możliwe, uczestnik ewakuacji otrzymuje do osiągnięcia inny cel, kolejny z listy przypisanych mu zadań. Program zakłada odpowiednie czasy opóźnienia uwzględniające zmniejszanie się szybkości poruszania oraz czas na

podjęcie decyzji co do realizacji poszczególnych celów. W programie zastosowano ocenę ewentualnych dawek toksycznych (w przypadku ewakuacji podczas pożaru) na organizm człowieka oraz ich wpływu na ewakuację. Uczestnicy przenoszą się z komórki do komórki w oparciu o wagi, które są kalibrowane poprzez prędkości przepływu w funkcji zagęszczenia na drogach ewakuacji. W niektórych przypadkach, model może zmieniać kalibrację dla komórek w celu odzwierciedlenia zmian w przypadku ewakuacji przez rejony zablokowane przez pożar.

EGRESS zawiera algorytm znajdowania trasy, który oblicza najkrótszą odległość od danej komórki do każdego wyjścia. EGRESS przypisuje indywidualnie każdemu uczestnikowi drogę w kierunku wyjścia lub kilku potencjalnych wyjść. Każda z przylegających do sześciokąta komórek otrzymuje indeks określający bliskość do punktu wyjścia. Indeks jest ustalany poprzez porównanie z innymi sąsiadującymi komórkami. Komórkami mogą być otwarte przestrzenie zajmowane przez osoby, części ściany lub inne niedrożności.

Prędkości przemieszczania się są ustalane na podstawie prawdopodobieństwa ruchu w określonym kierunku ku wyjściu. Te prawdopodobieństwa są ustalane na podstawie badań eksperymentalnych. EGRESS pozwala użytkownikowi na zmniejszenie dla określonej grupy pasażerów średniej prędkości w celu symulacji rannych lub niepełnosprawnych pasażerów. Symulacje ruchu w sytuacji dużego zagęszczenia opierają się na tzw. „zasadzie kolizji”. Najprostszą metodą zastosowania tej reguły jest pozostawienie pasażerów w ich bieżących komórkach, jeśli proponowany kierunek ruchu jest zablokowany przez innego pasażera [2].

2.4 SESAMO

Kilkanaście lat temu stocznia Izar oraz firma ETSIN R & D (Hiszpania) podjęły ścisłą współpracę w badaniu problemów ewakuacji statku. Pierwsza próba rozpoczęła się w 1997 projektem B-09. Jego celem było opracowanie nowego typu statków ro-pax, w tym opracowanie narzędzi do analizy ewakuacji. W tym czasie nie było ostatecznej metody badania ewakuacji. Zespół badawczy ETSIN przeprowadził szczegółowe badania na temat zalet i wad różnych metod oraz możliwości ich wykorzystania w praktyce.

Na podstawie tej pracy zostały opracowane jakościowe i ilościowe metody do analizy ewakuacji statku czyli SESAMO (Ship Evacuation Simulation and Analysis)

Powstały różne wersje metod różniące się stopniem złożoności:

- P (wstępna) ręczna metoda, która pozwala sprawdzić plan ewakuacji i sprzęt ratunkowy w kilka godzin i wykryć niedociągnięcia.
- M (manualna) metoda polegająca na sprawdzeniu planów ewakuacji metodą zawartą w cyrkularzu MSCcirc.909 pod kątem całkowitego czasu ewakuacji, obliczenia są wykonywane z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego.
- T (tymczasowa) metoda w założeniach jak metoda M, ale ze specjalnymi założeniami dodatkowymi dotyczącymi momentu rozpoczęcia ewakuacji i wystąpienia zatorów.
- S (symulacyjna) metoda bazująca na narzędziach do analiz planów ewakuacji, rozkładu dróg ewakuacyjnych i rozplanowania urządzeń ratunkowych. W oparciu o założenia powstałe w projekcie B-09 stworzono model Sifbup, który mógł być stosowany na różnych etapach powstawania statku:
- Sifbup D- do analiz w ewakuacji na etapie projektowania wstępnego w oparciu o cyrkularz MSC/circ. 1033.
- Sifbup S- dwuwymiarowa symulacja ruchu ludzi na pokładzie w warunkach normalnych oraz w sytuacjach awaryjnych.
- Sifbup-S3D- wizualizacja ruchu ludzi w trójwymiarowej wirtualnej rzeczywistości.
- Sifbup-V- do analizy operacji załadunku i rozładunku ciężarówek, samochodów i innych pojazdów wewnątrz promów i innych statków Ro-Ro

Przy projektowaniu Sifbup-S dostosowano model komórkowy do planu statku. Podzielono przestrzeń kwadraty o boku 0,4 m. Taka dyskteryzacja i wielkość komórek może być poważnym źródłem błędu, szczególnie w przypadku symulowania przejścia ludzi przez wąskie przejścia typu drzwi czy też korytarze. W modelu starano się to uwzględnić poprzez odpowiednie współczynniki. Kolejną ważną koncepcją był podział statku i modelowania ewakuacji na tych poziomach: strategiczny, taktyczny i operacyjny.

Na poziomie strategicznym określony zostaje układ scenariuszy oraz rozwiązywane są problemy związane z wyborem drogi ewakuacji przez daną osobę (globalnie). Podejmowane są decyzje co do określenia miejsc zbiórek w oparciu o plany ewakuacji oraz uwzględnienie ewentualnych niedostępności dróg ewakuacji (pożar, zalanie). Ten poziom jest oparty na makro-modelach.

Głównym celem poziomu taktycznego jest rozwiązanie w jakim kierunku pasażerowie będą się przemieszczać w celu osiągnięcia miejsc zbiórek (ruch z jednej komórki do drugiej). Członkowie załogi i pasażerowie mogą mieć różne trasy, co również zostało uwzględnione w modelu, jak również wpływ otoczenia. Zakłada się, że osoba wie w którym kierunku ma się poruszać aby osiągnąć wyznaczony cel.

Poziom operacyjny jest najbardziej istotny. Każdy pasażer jest indywidualnie modelowany. Zajmuje on jedną komórkę i do czasu aż jej nie opuści, nie może być ona zajęta przez inną osobę. Pasażer przemieszcza się w kierunku ustalonym na poziomie taktycznym [4].

PODSUMOWANIE

Do rozwiniętej analizy ewakuacji służą komputerowe programy symulacyjne. Analiza ewakuacji oparta jest na założeniach upraszczających, a obliczony czas ewakuacji może znacznie różnić się od rzeczywistego otrzymanego z prób oraz podczas rzeczywistych ewakuacji. Dlatego też nieustannie od wielu lat prowadzone są badania (często bardzo kosztowne) przez wyspecjalizowane konkurujące ze sobą ośrodki w celu weryfikacji i rozwijania modeli obliczeniowych. Komputerowe programy symulacyjne pozwalają na odwzorowanie geometrii trasy w postaci siatki zorientowanych pól zawierających przemieszczające się osoby. Model procesu ewakuacji jest dynamiczny, a parametry ruchu wszystkich osób zmieniają się w czasie (droga, prędkość, kierunek). Do obliczeń przyjmuje się prędkości ruchu (wartości początkowe i graniczne), a także czas reakcji określone eksperymentalnie w zależności od grup wiekowych, a ich rozkład w grupach według rachunku prawdopodobieństwa (rozkład normalny). Dane te podlegają ciągłej aktualizacji.

Podsumowując można stwierdzić, że w związku z tym iż rozwój przepisów dotyczących ewakuacji na morzu podąża w kierunku stosowania narzędzi symulacyjnych, niezmiernie istotne jest udoskonalanie istniejących narzędzi.

SIMULATION RESEARCH OF EVACUATION IN CIVIL ENGINEERING AND THE POSSIBILITY OF SUCH USES FOR VESSELS

Abstract

In order to prepare for a possible evacuation of the ship at the stage of design works a number of factors that may have a significant impact on its course. Most of the work is currently being carried out on a computer simulating the movement of people and the course of the evacuation. This article has been extracted factors specific to the marine evacuation to consider trying to adapt the models

used in civil engineering for use on ships. The next chapter will be characterized, for example, selected simulation models used to calculate the time of the evacuation ships

BIBLIOGRAFIA

1. Gwynne S., Galea E.R., Owen M., Lawrence P.J., Filippidis L.: *A systematic comparison of building EXODUS predictions with experimental data from the Stapelfeldt trails and the Milburn House evacuation*. Applied Mathematical Modelling 29, pp. 818-851, 2005.
2. Ketchell, N., Cole, S. S., Webber, D. M.: *The EGRESS Code for Human Movement and Behaviour in Emergency Evacuation*. R.A. Smith & J. F. Dickie, (Eds.), Engineering for Crowd Safety pp.361-370 .London: Elsevier 1994.
3. Klupfel, H., Meyer-Konig, T.: *Characteristics of the PedGo Software for Crowd Movement and Egress Simulation*. 2nd International Conference in Pedestrian and Evacuation Dynamics (PED) (pp. 331-340). London, U.K., University of Greenwich, 2003.
4. Lopez Pineiro A., Pérez Arribas F., Donoso R., Torres R.: *Simulation of passengers movement on ship emergencies. Tools for IMO regulations fulfillment*. Journal of Maritime Research, Vol. II.No. 1, pp. 105-125, 2005.

Autor:

dr inż. Dorota ŁOZOWICKA– Akademia Morska w Szczecinie