

Mgr inż. Hubert WELENC

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.316

Dr hab. inż. Andrzej GRABOWSKI, profesor CIOP-PIB

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Pracownia Techniki Rzeczywistości Wirtualnej

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA SYMULACJI KOMPUTEROWEJ I SYSTEMÓW WIZYJNYCH DO BADANIA TRAJEKTORII RUCHU PIESZYCH

Streszczenie: W zakresie modelowania ewakuacji ludzi z budynków badania eksperymentalne dotyczą głównie pomiaru czasu ewakuacji ludzi z budynków. Niestety badania takie nie dają szczegółowych informacji na temat trajektorii ruchu pieszych. Publikowane wyniki dotyczące analizy szczegółowej trajektorii ruchu są nieliczne, a wśród dostępnych prac, w których kształt trajektorii był mierzony eksperymentalnie, pomiary dokonywane były ze stosunkowo małą dokładnością i/lub częstotliwością. Brakuje doniesień literaturowych na temat trajektorii ruchu osób z dysfunkcją narządu ruchu oraz osób sprawnych poruszających się w pobliżu osób z dysfunkcją narządu ruchu.

USE OF COMPUTER SIMULATION AND MOTION CAPTURE SYSTEMS IN PEDESTRIAN TRAJECTORY RESEARCH

Abstract: In area of evacuation from buildings modeling, experimental studies mainly concern the total evacuation time from buildings. Unfortunately, such studies do not give detailed information on the trajectory of pedestrian traffic. Published the results of a detailed analysis on the trajectory are few, and among the available studies in which the shape of the trajectory was measured experimentally measurements were carried out at a relatively low accuracy and/or frequency. Moreover there are no literature reports on the trajectory of people with reduced mobility and disabled persons moving in close proximity to other people with reduced mobility.

Słowa kluczowe: symulacja komputerowa, proces ewakuacji, rzeczywistość wirtualna, rejestracja ruchu

Keywords: computer simulation, evacuation process, virtual reality, motion capture

1. WPROWADZENIE

Wykorzystanie modeli matematycznych ruchu pieszych w czasie ewakuacji w zakresie zarządzania kryzysowego i projektowania planów ewakuacji opisano m.in. w pracach [1-3]. W pracy [1] przedstawiono metodę wykorzystującą modele agentowe pozwalające na symulacyjną weryfikację planów ewakuacji. Sposób funkcjonowania opracowanej metody przedstawiono na przykładzie ewakuacji ludzi z płonącego pociągu mera, który utkwiał

między dwiema stacjami. Symulacje przeprowadzono w oparciu o następujące reguły ruchu pieszych (pasażerów metra):

- pasażer przemieszcza się wyłącznie wtedy, jeżeli jest dostępna w jego sąsiedztwie wolna przestrzeń,
- pasażer w pociągu przemieszcza się do najbliższych drzwi. Jeżeli drzwi są otwarte, opuszcza pociąg. Jeżeli są zamknięte, wówczas po czasie t_P (patience time, parametr modelu) otwiera drzwi i opuszcza pociąg,
- pasażer poza pociągiem kieruje się do najbliższej stacji,
- pasażer oddala się od ognia, jeżeli jest w jego pobliżu,
- w przypadku zadymionej atmosfery, pasażer porusza się w kierunku obszarów mniej zadymionych,
- samotni pasażerowie poruszają się w kierunku najbliższej osoby (dodanie tej reguły ma na celu zasymulowanie wpływu obecności grupy na zachowanie ludzi).

Organizacja paraolimpiady w Londynie w 2012 roku była dużym wyzwaniem zarówno pod względem technicznym, jak i logistycznym. Jedną z najważniejszych spraw było zapewnienie bezpieczeństwa zawodnikom i publiczności. W pracy [2] pokazano, że w takich przypadkach korzystne jest wykorzystanie symulacji komputerowych w celu identyfikacji potencjalnych źródeł problemów oraz do analizy przebiegu różnych scenariuszy wydarzeń, które naruszają bezpieczeństwo igrzysk. Jedną z zalet takiego podejścia jest to, że takie analizy i eksperymenty numeryczne można przeprowadzić jeszcze na etapie planowania przebiegu olimpiady. Ponadto modele matematyczne i wyniki symulacji numerycznych mogą być stosowane jako narzędzia szkoleniowe, umożliwiające przećwiczenie podstawowych taktyk i procedur operacyjnych jeszcze przed ćwiczeniami prowadzonymi na rzeczywistych obiektach olimpijskich.

Ważnym problemem w zakresie modelowania ruchu pieszych jest uwzględnienie schodów [4] i drzwi [4, 5]. Ze względu na trudności techniczne i bezpieczeństwo niestety prowadzi się stosunkowo niewiele prac eksperymentalnych dotyczących tej tematyki. Jedną z nielicznych prac, w ramach których przeprowadzono eksperyment, jest praca [5]. Eksperyment odbył się podczas próbnej ewakuacji z dwukondygnacyjnego akademika szkoły wojskowej. Zaobserwowano, że liczba osób ewakuowanych zależy liniowo od czasu. Nie zauważono ruchu turbulentnego, głównie ze względu na szerokie drzwi (2 m) oraz architekturę budynku (niski, zaledwie dwukondygnacyjny budynek o dużej powierzchni). Wyniki eksperymentu porównano z wynikami uzyskanymi przez program komputerowy FDS + Evac. Zaobserwowano zgodność obu wyników. W pracy [4] zaproponowano rozszerzenie modelu *social force* o możliwość modelowania ruchu na schodach. Parametry modelu dobrano w oparciu o wyniki obserwacji ruchu pieszych na schodach dwóch stacji metra w Pekinie.

Interesującym przykładem analizy danych empirycznych, choć niezwiązanych z ewakuacją z budynku, jest praca [6], w której przedstawiono wyniki analizy materiału filmowego zarejestrowanego podczas katastrofy, jaka miała miejsce 12 stycznia 2006 roku podczas hadżdż (pielgrzymki do Mekki). W oparciu o materiał filmowy wyznaczono trajektorię ruchu pieszych na moście Jamarat z 95% dokładnością. Uzyskane wyniki pokazały, że nawet w bardzo gęstym tłumie (gdzie lokalne gęstości osiągają wartości nawet dziesięć osób na metr kwadratowy) ruch tłumy nie jest całkowicie zatrzymany, co w efekcie powoduje powstawanie

nadkrytycznych gęstości. Największe niebezpieczeństwo jest jednak związane z bardzo specyficzną dynamiką tłumy przy wysokich gęstościach. Wyniki prowadzonych analiz pozwoliły na wykrycie dwóch nagłych przejść z ruchu laminarnego do ruchu typu start-stop, a następnie do ruchu turbulentnego, który może wywołać deptanie ludzi. Fale ruchu typu start-stop pojawiają się, gdy gęstość tłumy jest duża, a przepływ spada poniżej wartości krytycznej.

Badania eksperymentalne dotyczą głównie pomiaru czasu ewakuacji ludzi z budynków (badania tego typu były prowadzone również w CIOP-PIB we współpracy z SGSP). Niestety badania takie nie dają szczegółowych informacji na temat trajektorii ruchu pieszych. Publikacja [7] zawiera wyniki jednej z nielicznych prac, w której kształt trajektorii był mierzony eksperymentalnie (w tym przypadku z wykorzystaniem systemu wizyjnego ze stosunkowo niską częstotliwością 12 Hz, w laboratorium NB4 kamery działają z częstotliwością 100 Hz). Brakuje doniesień literaturowych na temat trajektorii ruchu osób z dysfunkcją narządu ruchu oraz osób sprawnych poruszających się w pobliżu osób z dysfunkcją narządu ruchu.

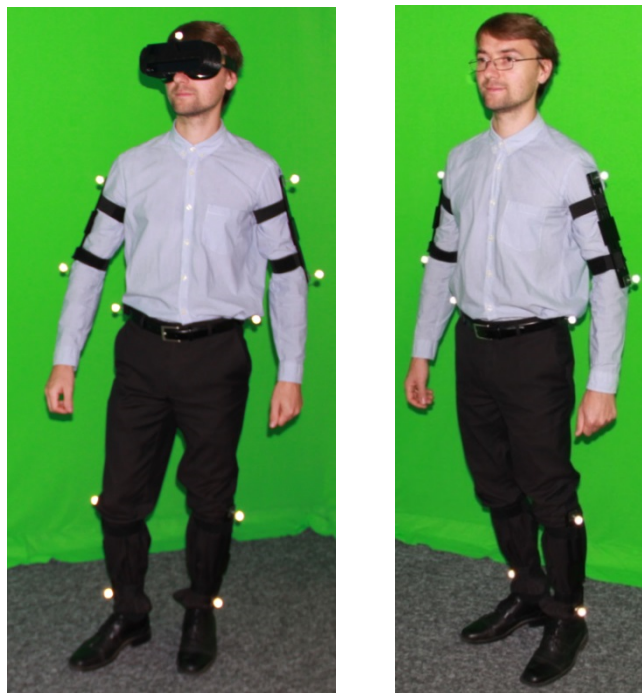
2. KONCEPCJA BADAŃ

Przedmiotem badań jest opracowanie oprogramowania komputerowego do symulacyjnego badania procesów ewakuacji ludzi (pieszych) z różnych pomieszczeń i budynków z wykorzystaniem narzędzi rzeczywistości wirtualnej. Oparte ono będzie na modelu matematycznym opisującym ruch pieszych z wykorzystaniem silnika fizyki (ang. *physics engine*) [8], w którym wprowadzony zostanie bardziej realistyczny opis ruchu pieszych w różnych warunkach zewnętrznych oraz uwzględnione będą nowe wyniki badań eksperymentalnych, a także zastosowane narzędzia rzeczywistości wirtualnej. Badania zostaną przeprowadzone w laboratorium wyposażonym w odpowiednią aparaturę do badań rejestracji ruchu oraz aparaturę do prezentacji środowisk wirtualnych. W pierwszym etapie ochotnicy będą obserwowali świat rzeczywisty, a ich zadaniem będzie przejście wzdłuż laboratorium, omijając przeszkody i inne osoby. Rejestrowane będą trajektorie ruchu pieszych, których analiza pozwoli m.in. na wyznaczenie rozkładu preferowanych odległości osób od przeszkód i innych ludzi. Drugi etap badań będzie oparty o wykorzystanie technik zanurzeniowej rzeczywistości wirtualnej. Zamiast świata rzeczywistego osobom badanym będzie przedstawiony syntetyczny świat komputerowej symulacji. Zadaniem ochotników będzie wielokrotne przejście wzdłuż laboratorium tak, aby omijać napotkane przeszkody i awatary innych ludzi, ze szczególnym uwzględnieniem osób z niepełnosprawnościami (np. osób poruszających się na wózku inwalidzkim). Planuje się, że ok. 30% osób badanych będą stanowiły osoby z dysfunkcją narządu ruchu. Takie podejście pozwoli z jednej strony na określenie wpływu obecności osób z niepełnosprawnościami na trajektorię ruchu osób sprawnych ruchowo, a z drugiej na zebranie danych dotyczących preferowanych trajektorii ruchu osób z dysfunkcją narządu ruchu. Dane te będą niezbędne do przygotowania rozszerzonego i bardziej realistycznego modelu matematycznego opisującego ruch pieszych. Jedną z nowych cech tego modelu będzie uwzględnienie wpływu obecności osób szczególnej troski, w szczególności osób z dysfunkcją narządu ruchu, na przebieg procesu ewakuacji ludzi z budynków. W pierwszej kolejności przeprowadzone zostaną badania pilotażowe z udziałem

ok. 5 osób. Wyniki tych badań umożliwią modyfikację środowiska wirtualnego i metody badawczej. Następnie zostaną przeprowadzone badania z udziałem ok. 30 osób.

3. STOSOWANE NARZĘDZIA BADAWCZE

Do realizacji zadania niezbędne jest zebranie trajektorii ruchu ludzi w różnych warunkach. Do tego celu wykorzystany zostanie wizyjny system śledzenia opracowany w Pracowni Techniki Rzeczywistości Wirtualnej CIOP-PIB. Częstotliwość pomiaru wynosząca 100 Hz pozwala na rejestrację i wierne odtworzenie w wirtualnym środowisku nawet stosunkowo szybkich ruchów kończyn. System wizyjny składa się z 12 kamer rejestrujących obraz w paśmie widma promieniowania elektromagnetycznego odpowiadającego bliskiej podczerwieni. Każda z kamer została wyposażona w filtr typu IR PASS, który blokuje fale krótsze niż 800 nm, oraz oświetlacz składający się z dwóch koncentrycznych kręgów diod. System pozwala na wyznaczenie bezwzględnego położenia w przestrzeni trójwymiarowej pasywnych znaczników w postaci kulek o średnicy 14 mm pokrytych materiałem odblaskowym zgodnym z normą EN471 (*Industrial-grade (EN 471 Class 2) retro-reflective marker coating*). Zestaw pasywnych znaczników zostanie umieszczony w wybranych punktach osoby biorącej udział w badaniu, co pozwoli na wyznaczenie jej trajektorii ruchu oraz trajektorii ruchu kończyn (rys. 1).

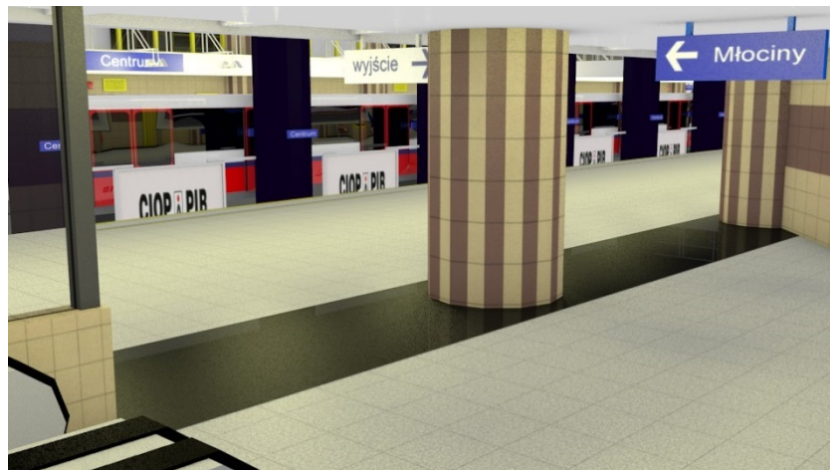
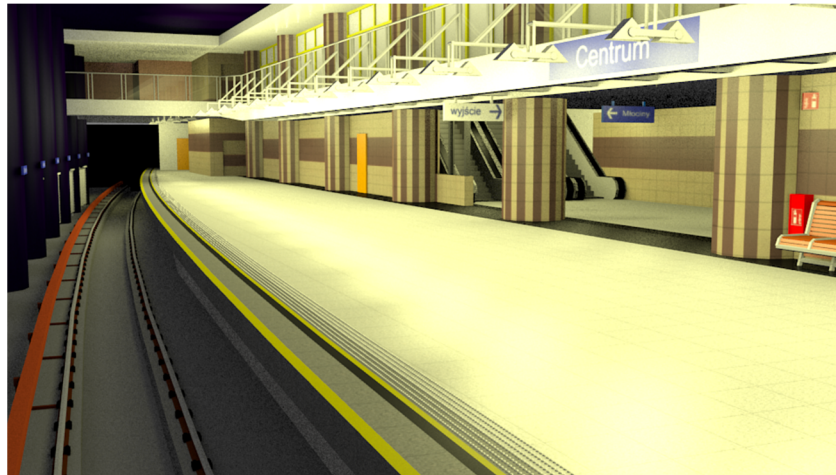


Rys. 1. Osoba przygotowana do wzięcia udziału w badaniach, z goglami (z lewej) oraz bez gogli (z prawej) rzeczywistości wirtualnej (HMD – Head Mounted Display)

Badania będą prowadzone w środowisku rzeczywistym i wirtualnym. Do prezentacji stereoskopowego obrazu środowiska wirtualnego planuje się wykorzystać gogle rzeczywistości wirtualnej HMD (*Head Mounted Display*) Oculus Rift DK2 wyświetlające

obraz o rozdzielczości 1920 x 1080 punktów i polu widzenia FoV (*Field of View*) wynoszącym 110 stopni. Do wyznaczenia orientacji głowy wykorzystany zostanie układ typu AHRS (*Attitude and Heading Reference System*) komunikujący się bezprzewodowo z komputerem przygotowującym obraz środowiska wirtualnego za pomocą interfejsu Bluetooth. Układ typu AHRS zbudowany jest z magnetometru, akcelerometru i żyroskopu elektronicznego. Swobodne poruszanie się po laboratorium umożliwi system bezprzewodowej transmisji obrazu.

W badaniach zostanie wykorzystane środowisko wirtualne, które powinno osobom biorącym udział w symulacji dobrze kojarzyć się z komunikacją, co powinno wpłynąć pozytywnie na wiarygodność uzyskiwanych wyników. Opracowane środowisko odwzorowuje w wirtualnej przestrzeni stację metra Warszawa Centrum (rys. 2).



Rys. 2. Przykładowe ilustracje prezentujące opracowane środowisko wirtualne

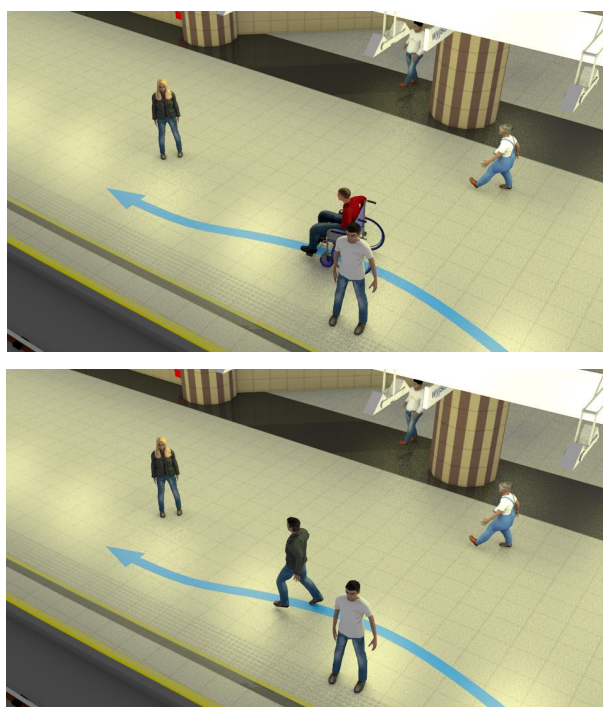
Zadaniem osoby biorącej udział w badaniu będzie wielokrotne przejście wzdłuż laboratorium z punktu początkowego A do punktu końcowego B. W środku odcinka AB będzie się znajdowała przeszkoda, którą trzeba będzie ominąć. Planuje się zebranie danych eksperymentalnych w środowisku rzeczywistym (osoba badana będzie widziała wnętrze laboratorium) oraz w środowisku wirtualnym (osoba badana będzie obserwowała środowisko wirtualne za pomocą gogli rzeczywistości wirtualnej) dla trzech różnych przypadków:

- omińnięcie przeszkody (np. walizki lub krzesła) – rys. 3,
- omińnięcie nieprzemieszczającej się osoby sprawnej ruchowo – rys. 4,
- omińnięcie nieprzemieszczającej się osoby na wózku inwalidzkim – rys. 5.

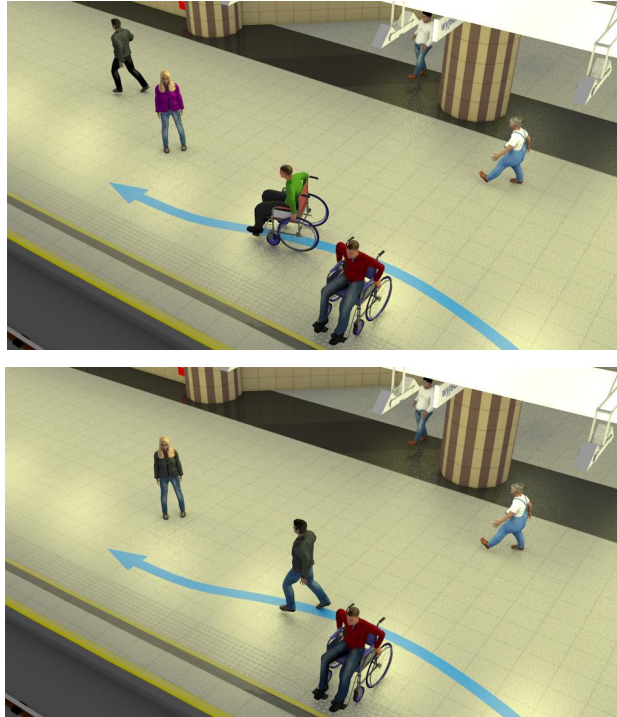
Planuje się, że w badaniach weźmie udział ok. 30 osób, w tym ok. 30% osób badanych będą stanowiły osoby z dysfunkcją narządu ruchu.



Rys. 3. Schemat pokazujący trajektorie ruchu podczas omijania przeszkody (torby podróżnej) przez osoby sprawne oraz z dysfunkcją narządu ruchu



Rys. 4. Schemat pokazujący trajektorie ruchu podczas omijania stojącej osoby przez osoby sprawne oraz z dysfunkcją narządu ruchu



Rys. 5. Schemat pokazujący trajektorię ruchu podczas omijania osoby siedzącej na wózku inwalidzkim przez osoby sprawne oraz z dysfunkcją narządu ruchu

4. PODSUMOWANIE

Ewakuacja budynków spowodowana wydarzeniami zagrażającymi zdrowiu i życiu użytkowników (pożary, zagrożenia wybuchem, zamachy terrorystyczne) często prowadzi do powstania zranień i ofiar śmiertelnych wśród ludzi (np. zawalenie się hali Międzynarodowych Targów Katowickich w 2006 roku spowodowało śmierć 65 osób, a ponad 170 zostało rannych). Sprzyjają temu nieodpowiednie procedury ewakuacyjne i rozwiązania architektoniczne. Badania prowadzone w ramach niniejszego tematu dotyczą analizy i opisu zjawisk występujących w czasie ewakuacji w oparciu o obserwacje eksperymentalne i przy użyciu metod wykorzystujących rzeczywistość wirtualną. Uzyskane wyniki przyczynią się do doskonalenia procedur prowadzenia ewakuacji w wielopiętrowych budynkach różnego rodzaju, co pozwoli poprawić bezpieczeństwo w czasie ewakuacji.

Planowane do zebrania dane eksperymentalne są niezbędne do przygotowania rozszerzonego i bardziej realistycznego modelu matematycznego opisującego ruch pieszych. Jedną z nowych cech tego modelu będzie uwzględnienie wpływu obecności osób szczególnej troski, w szczególności osób z dysfunkcją narządu ruchu, na przebieg procesu ewakuacji ludzi z budynków. W szczególności planowane badania pozwolą na określenie i porównanie trajektorii ruchu pieszych w środowisku rzeczywistym i wirtualnym, określenie rozkładu preferowanych odległości osób od przeszkód i innych ludzi w przypadku osób z dysfunkcją narządu ruchu oraz rozkładu preferowanych odległości sprawnych osób od innych osób z dysfunkcją narządu ruchu.

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.

Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

LITERATURA

- [1] ZARBOUTIS N., MARMARAS N.: *Design of formative evacuation plans using agent-based simulation*, “Safety Science” 45 (2007), 920-940.
- [2] JOHNSON C.: *Using evacuation simulations for contingency planning to enhance the security and safety of the 2012 Olympic venues*, “Safety Science” 46 (2008), 302-322.
- [3] LIN Y.-H. et al.: *The IFC-based path planning for 3D indoor spaces*, “Advanced Engineering Informatics” 27 (2013), 189-205.
- [4] QU Y., GAO Z., XIAO Y., LI X.: *Modeling the pedestrian’s movement and simulating evacuation dynamics on stairs*, “Safety Science” 70 (2014), 189-201.
- [5] LEI W., LI A., GAO R., WENG X.: *Influences of exit and stair conditions on human evacuation in a dormitory*, “Physica A” 391 (2012), 6279-6286.
- [6] HELBING D., AL-ABIDEEN H.Z.: *Dynamics of crowd disasters: An empirical study*, “Physical Review E” 75, 046109 (2007).
- [7] MOUSSAÏD M., HELBING D. and THERAULAZ G.: *How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters*, PNAS 2011; published ahead of print April 18, 2011, doi:10.1073/pnas.1016507108.
- [8] GRABOWSKI A., WELENC H.: *Symulacja procesu ewakuacji z wykorzystaniem silnika Bullet – porównanie z eksperymentem*, „Mechanik” [CD-ROM] 2014;7:423-430.