

## Modelowanie ewakuacji z budynków z wykorzystaniem analiz rastrowych

### Modelling evacuation of buildings using raster analysis

Piotr Cichociński

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie,  
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Geomatyki

**Słowa kluczowe:** SIG, koszt odległości, powierzchnia kosztu, prędkość ruchu, przeszkoda, siatka zajętości

**Keywords:** GIS, cost distance, cost surface, movement speed, obstacle, occupancy grid

## Wprowadzenie

Z każdym rokiem wzrasta liczba zagrożeń dla obywateli przebywających w przestrzeni publicznej. Trzeba tu wymienić szczególnie zmiany klimatyczne, powodujące zwiększenie częstotliwości występowania takich zjawisk pogodowych jak: powodzie, huragany bądź wielkoobszarowe pożary lasów (Szczygieł, 2012) lecz również terroryzm. Podstawowym zadaniem w momencie wystąpienia: pożaru, zanieczyszczenia środowiska lub klęski żywiołowej jest szybka i bezpieczna ewakuacja ludzi z zagrożonego obszaru (Stringfield, 2000). Szczególnie dla budynków o skomplikowanym układzie pomieszczeń komunikacyjnych wyznaczenie optymalnych tras dojścia do wyjść ewakuacyjnych może nie być zadaniem trywialnym (Pu, Zlatanova, 2005).

W związku z tym służby ratunkowe coraz częściej korzystają z systemów informacji geograficznej (Kevany, 2003), które dysponują funkcjonalnością umożliwiającą odpowiednie zaplanowanie ewakuacji ludności. Kompleksowy system zarządzania kryzysowego powinien funkcjonować zarówno w skali makro (na obszarach całych miast lub innych jednostek administracyjnych – na odpowiednim poziomie uogólnienia) (Eckes, 2010), jak i dostarczać szczegółowej informacji w skali mikro (dotyczącej budynków, a nawet pojedynczych pomieszczeń) (Choi, Lee, 2010; Eckes, 2008), co zapewni służbom ratunkowym dostęp do informacji o strukturze wnętrza budynku.

Dla celów ewakuacji, ale także nawigacji, przestrzeń wewnątrz budynków jest zwykle modelowana za pomocą grafu określającego wzajemne powiązania pomiędzy pomieszczeniami, w którym obiekty punktowe – węzły reprezentują pomieszczenia, a krawędzie – obiekty liniowe łączą pary węzłów (Cichociński, Dębińska, 2016). Takie podejście zostało sformalizowane w postaci standardu IndoorGML (Open Geospatial Consortium, 2016), określające

go strukturę przestrzeni nawigowalnych w budynkach. Jest ono skupione na wzajemnych powiązaniach pomiędzy pomieszczeniami oraz przemieszczaniu się z jednego pomieszczenia do drugiego i w tym zakresie można go porównać do modelu sieci drogowej. Jednakże inaczej niż w przypadku dróg, gdzie pojazdy muszą się przemieszczać wzdłuż odcinków sieci (Curtin, 2007), piesi mają swobodę poruszania się po całej dostępnej powierzchni (Taneja i in., 2016).

Dlatego, zainteresowanie badaczy zajmujących się zastosowaniem systemów informacji geograficznej do nawigacji w budynkach, skierowało się w kierunku modeli rzeczywistości używanych w robotyce mobilnej. Oprócz reprezentacji topologicznej, którą można porównać do grafowych modeli sieci stosowanych w GIS, stosowana jest tam również reprezentacja metryczna (Ambroszkiewicz, 2006). Polega ona na dekompozycji przestrzeni na siatkę komórek, uwzględniając przy tym w postaci binarnej ich zajętość (Kułakowski i in., 2008).

Taką siatkę zajętości (*occupancy grid*) jako podstawę swojego rozwiązania przyjęli Li i in. (2010). Tak jak w przypadku IndoorGML jest to podejście wektorowe i grafowe, lecz (podobnie jak w modelu rastrowym) ułożonymi w regularnych odstępach węzłami wypełniana jest cała dostępna przestrzeń obiektu. Rejestruje więc w dalszym ciągu właściwości strukturalne przestrzeni, ale jednocześnie uwzględnia jej cechy geometryczne. Pozytywną weryfikację tego modelu, dokonaną przez przeprowadzenie analiz najkrótszych tras z wykorzystaniem planu hotelu, przedstawiono w pracy (Sun, Li, 2011).

Istotną kwestią przy generowaniu siatki jest jej gęstość. Ze względu na wydajność obliczeniową liczba węzłów nie powinna być zbyt duża, ale jednocześnie istotne jest, by wystarczająco dokładnie odwzorować geometrię analizowanego obiektu. Z prostego założenia wychodzą Li i in. (2016), którzy przyjmując wielkość oczka siatki  $0,2 \times 0,2$  m, uzależniają ją od połowy szerokości najwęższych drzwi w budynku. Li i in., (2010) w swoich eksperymentach doszli do wartości 25 cm, wynikającej z minimalnej szerokości zajętych fragmentów przestrzeni, czyli grubości ścian.

Trzeba jednak ponownie zaakcentować, że pomimo zastosowania siatki, tak naprawdę zaprezentowane modele są modelami wektorowymi. Jednak analizy przestrzenne nie muszą być prowadzone wyłącznie na danych wektorowych. Regularna siatka może być również zapisana w modelu rastrowym. Można co prawda spotkać pojedyncze zastosowania modelu rastrowego, ale rozważania sprowadzają się do prób osiągnięcia rezultatów zbliżonych do tych z modelu wektorowego (na przykład znajdowania najkrótszej trasy) (Hong, Murray, 2016). Tymczasem z modelem rastrowym związane jest w GIS całe bogactwo algorytmów wykorzystujących jego specyfikę. Jednym z obszarów ich zastosowań jest opracowywanie map dostępności (Bielecka, Filipczak, 2010), które mogą się sprawdzić w przypadku planowania ewakuacji. Co prawda elementy rastra (piksele, komórki) wypełniają całość prostokątnego obszaru i mogłoby się wydawać, że nie można za ich pomocą modelować zajętości pewnych fragmentów przestrzeni (jak w modelu wektorowym, gdzie usuwa się niepotrzebny fragment siatki) jednak w modelu rastrowym wartości pikseli mogą przyjmować wartości *no data* (brak danych), co zdaniem autora w wystarczający sposób rozwiązuje problem.

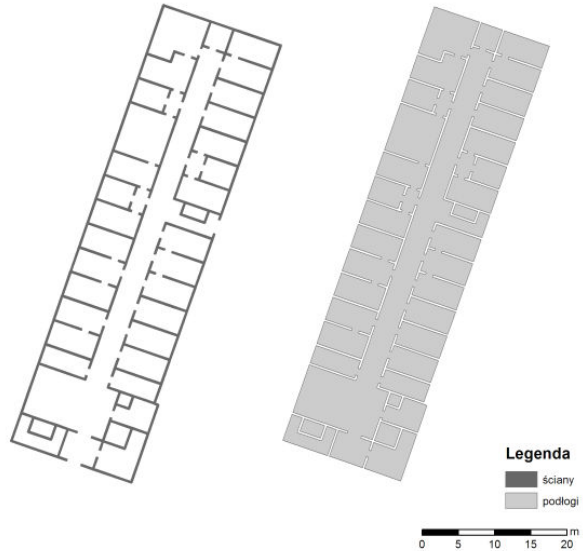
Postawiono tezę, że dane rastrowe nie tylko umożliwiają modelowanie ewakuacji z budynków, ale również pozwalają na uwzględnienie w analizie czynników, których nie można ująć w modelu wektorowym, bądź jest to bardziej skomplikowane. Tezę tę udowodniono przez wiele eksperymentów na danych reprezentujących rzeczywisty obiekt, którym jest pawilon C-4 kampusu Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, będący siedzibą Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska.

Do przeprowadzenia wszystkich działań opisanych w pracy oraz sporządzenia ilustracji użyto oprogramowania ArcGIS for Desktop Advanced firmy Esri, z którego pracownicy i studenci AGH mogą korzystać w ramach licencji Site zakupionej przez uczelnię. Elementem tej zaawansowanej wersji programu jest rozszerzenie Spatial Analyst, dysponujące szerokim spektrum narzędzi do przetwarzania danych rastrowych. Nazwy prezentowanych w dalszej treści pracy funkcji (narzędzi) są zgodne z terminologią firmy Esri w tym zakresie.

## Metodyka badań

### Pozyskanie danych

Kwestią, od której należy rozpocząć, jest pozyskanie danych zapisanych w modelu rastrowym. Na tym etapie zdaniem autora ujawniają się dodatkowe zalety podejścia rastrowego, wynikające z łatwości uzyskania danych w postaci rastra na podstawie zapisanych cyfrowo planów architektonicznych. Obecnie informacja w formie cyfrowej na temat struktury budynków gromadzona jest najczęściej w postaci wektorowych rysunków wykonywanych w oprogramowaniu CAD (ang. *Computer Aided Design*) i składających się z prostych elementów geometrycznych, takich jak linie bądź łuki kołowe (Dominguez i in., 2012). Na podstawie zbioru obiektów o charakterze liniowym, przedstawiających elementy konstrukcyjne budynku, trzeba jeszcze na etapie danych wektorowych wygenerować dwa zbiory wieloboków (rys. 1): jeden reprezentujący ściany budynku i inne przeszkody uniemożliwiające poruszanie się oraz drugi odpowiadający podłogom, czyli reprezentujący powierzchnie, na których przebywają i po których przemieszczają się ludzie. Podstawą do dalszych działań będzie powierzchnia podłóg, która zostaje zamieniona na postać rastrową. Podobnie jak inni, wymienieni powyżej badacze, autor tej pracy dostrzega kwestię wielkości piksela wynikowego rastra. Jego zdaniem głównym wyznacznikiem jego wielkości powinny być obiekty w budynku o najmniejszym, co najmniej jednym wymiarze. Takimi obiektami są w tym przypadku ściany, których szerokość jest mniejsza od kolejnych potencjalnie niewielkich obiektów, jakimi są drzwi. Wielkość piksela powinna być w ten sposób dopasowana do szerokości ścian, żeby tworzyły one już w modelu rastrowym rzeczywistą barierę oddzielającą od siebie pomieszczenia. Oznacza to, że w szerokości ściany powinny się mieścić co najmniej dwa piksele, czyli wielkość piksela powinna być mniejsza od połowy szerokości najwęższej ściany.



**Rysunek 1.** Dwa zbiory wieloboków: jeden reprezentujący ściany budynku (po lewej), drugi odpowiadający podłogom (po prawej)

## Analizy odległościowe

Obowiązujące w Polsce przepisy (Obwieszczenie, 2015) określają maksymalną dopuszczalną długość tak zwanego „przejścia ewakuacyjnego”, czyli odległość najdalszego miejsca w budynku, w którym może przebywać człowiek, do wyjścia ewakuacyjnego. Wydawało się, że do weryfikacji takiego warunku można będzie użyć narzędzia *Odległość euklidesowa*, które dla każdego piksela wyznacza jego odległość do najbliższej lokalizacji źródłowej, w tym przypadku wyjścia ewakuacyjnego. Do jego uruchomienia oprócz rastra reprezentującego podłogi i pełniącego funkcję maski ograniczającej obszar analizy, są potrzebne obiekty reprezentujące źródła – wyjścia ewakuacyjne. Można do tego celu użyć warstwę wektorową, na której należy umieścić punkty odpowiadające wyjściom z budynku (rys. 2).

Jednak już pierwsze próby zastosowania tego narzędzia pokazały, że odległość piksela od źródła liczona jest w linii prostej, bez uwzględnienia przeszkód w postaci ścian reprezentowanych przez piksele o wartości *no data*. Poszukiwania innego rozwiązania doprowadziły w pierwszej kolejności do narzędzia *Koszt odległości*, które dla każdego piksela wyznacza najmniejszy zakumulowany koszt dotarcia do najbliższego źródła (Esri, 2017). Analiza wykonywana jest na podstawie rastra definiującego powierzchnię oporu, który trzeba pokonać przy przemieszczaniu się przez poszczególne piksele. Należy zwrócić uwagę, że koszt odnoszony jest do jednostki odległości i tym samym nie zależy od wielkości piksela.

## Analizy z użyciem powierzchni kosztu

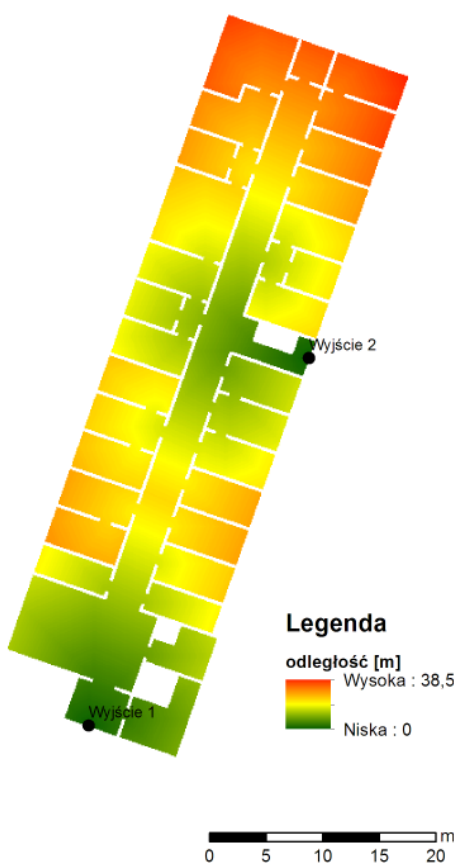
Odległość do najbliższego wyjścia jest uniwersalną miarą, łatwą do oszacowania na podstawie samego układu pomieszczeń w budynku, ale nie uwzględnia czasu dojścia, który mimo stałej długości trasy może być różny. Wynika to z wielorakości czynników oddziałujących na osoby ewakuujące się, takich jak: zadymienie pomieszczeń ograniczające widoczność, bądź też zmuszające do poruszania się na czworakach (Almejmaj i in., 2015, Fridolf i in., 2014, Kady, Davis, 2009; Kobes i in., 2010, Seike i in., 2016). W przypadku dużej liczby osób chcących jednocześnie opuścić budynek, w miejscach gdzie przejścia się zwężają, może dochodzić do zatorów zmniejszających prędkość ruchu, tym samym wydłużających czas dotarcia do wyjścia (Desmet, Gelenbe, 2013). Szczegółowe rozważania na ten temat wykraczają poza zakres tej pracy, jednak istotne jest w tym miejscu to, że do zamodelowania prędkości ruchu z uwzględnieniem ograniczeń można użyć rastra reprezentującego podłogi, w którym piksele będą miały wartości odpowiadające czasowi pokonania odległości jednego metra. Podanie takiego rastra jako parametru jednego z narzędzi *Koszt odległości* bądź *Alokacja kosztu* pozwoli na oszacowanie czasu dotarcia do wyjść ewakuacyjnych.

## Wyniki

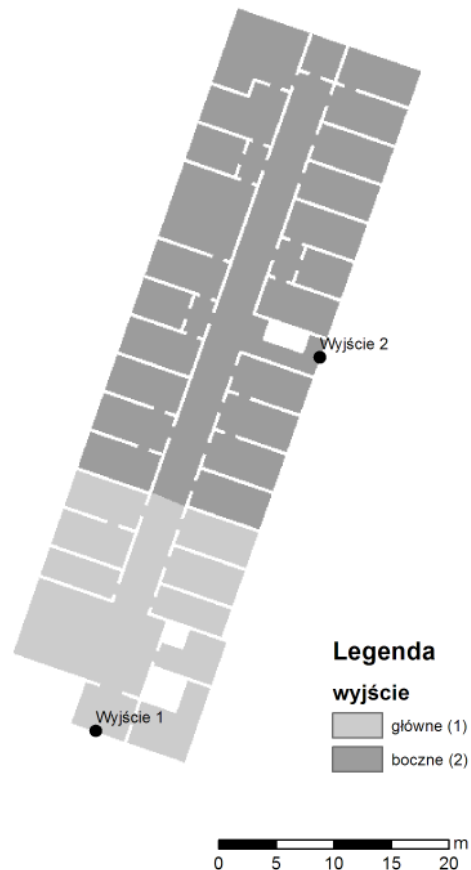
Dane wektorowe opisujące budynek C-4 zostały pozyskane przez studentów Koła Naukowego Geodetów „Dahlta” w ramach opracowywania geoportalu System Informacji Przestrzennej AGH (Parkitny i in., 2013). Dokonano ich konwersji do postaci rastrowej, jako optymalną wielkość piksela przyjmując 10 cm (0,1 m). Po nadaniu wszystkim pikselom rastra reprezentującego podłogi wartości 1 (koszt pokonania odległości jednego metra wynosi jeden), otrzymano możliwość przeprowadzenia analizy odległościowej, ale z uwzględnieniem barier – ścian (rys. 2).

Ostatecznie jednak do przeprowadzenia analizy użyto narzędzia *Alokacja kosztu*, które zawiera funkcjonalność narzędzia *Koszt odległości*, określając w tym przypadku odległość każdego miejsca w budynku od najbliższego wyjścia, lecz oprócz tego wskazuje dla każdego piksela, na dodatkowo generowanym rastrze, położone najbliżej niego źródło (rys. 3), tym samym podając, do którego wyjścia należy się udać z określonej lokalizacji.

W analizach przyjęto, że gęstość tłumu i tym samym szybkość jego poruszania, zależna jest od szerokości pomieszczeń. Można też założyć, że szerokość głównych korytarzy w budynku C-4, wynosząca około 3 metrów, została zaprojektowana tak, żeby umożliwić płynne przemieszczanie się w czasie ewakuacji. Oznacza to, że osoba poruszająca się środkiem będzie oddalona o ponad 1,5 metra od najbliższej ściany. Różne źródła (Bosina, Weidmann, 2017) są zgodne co do tego, że zdrowy dorosły człowiek w przypadku braku ograniczeń porusza się ze średnią prędkością wynoszącą 1,34 m/s (0,75 s/m). Inaczej będzie wyglądała sprawa w miejscach zwężenia, takich jak drzwi lub schody. Autorzy pracy (Pecock i in., 2017) po przeprowadzeniu obszernych badań doszli do wniosku, że prędkość przemieszczania się po schodach wynosi średnio 0,44 m/s (2,27 s/m). Taką prędkość zało-



**Rysunek 2.** Wynik analizy wyznaczającej odległość do wyjść awaryjnych



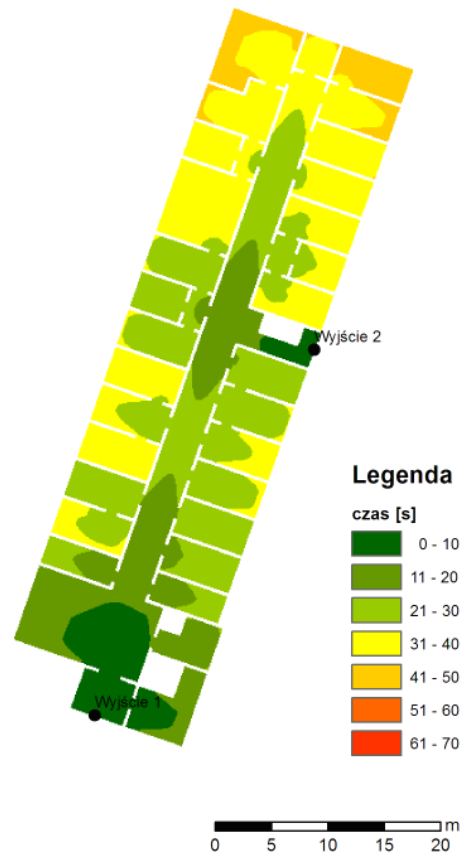
**Rysunek 3.** Wynik analizy dzielącej przestrzeń na obszary położone najbliżej poszczególnych wyjść awaryjnych

żono dla ruchu w najwęższej przestrzeni, czyli w drzwiach, gdzie osoba przechodząca ich środkiem znajduje się około 0,5 metra od brzegu otworu drzwiowego.

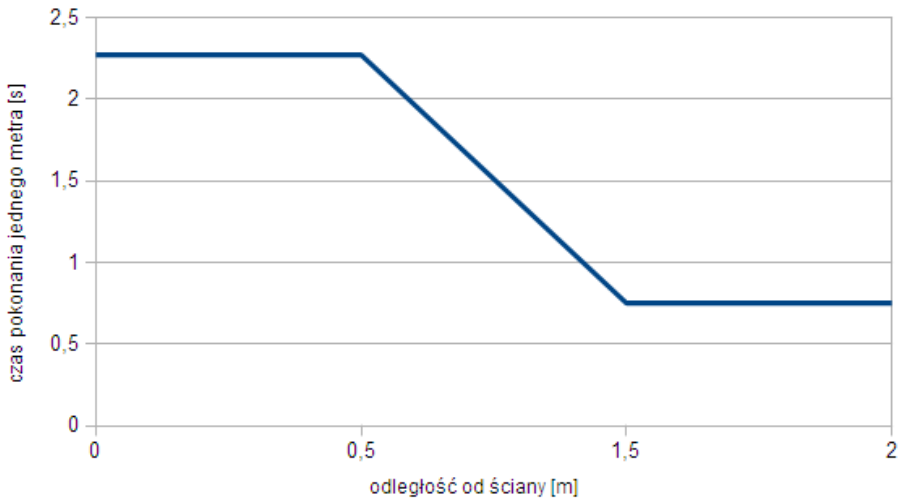
Raster, w którym koszt ruchu uzależniony jest od szerokości pomieszczeń i przejść postanowiono utworzyć za pomocą narzędzia *Odległość euklidesowa*. Tym razem narzędzie dało zgodny z oczekiwaniami wynik – zbiór pikseli, których wartości odpowiadają ich odległości od najbliższych ścian budynku. Na rysunku 4 można zauważyć, że maksymalne wartości pikseli w osiach wąskich pomieszczeń są mniejsze niż w szerokich. Jednak te wartości nie są jeszcze czasami pokonania odległości jednego metra. Żeby czasy wynikające z przedstawionej powyżej maksymalnej prędkości zostały przypisane pikselom położonym na środku najszerszych pomieszczeń (czyli w największej odległości od ścian), a czasy najdłuższe tym znajdującym się w sąsiedztwie ścian, dokonano przeskalowania według funkcji zaprezentowanej na rysunku 5. Dla pomieszczeń i przejść o szerokości mniejszej od 1,0 m założono prędkość 0,44 m/s, dla pomieszczeń o szerokości większej niż 3,0 m przyjęto 1,34 m/s, natomiast pomiędzy tymi szerokościami granicznymi prędkość rośnie liniowo od 0,44 m/s do 1,34 m/s. Uzyskany w wyniku tej operacji raster (rys. 7) posłużył jako parametr narzędzia



**Rysunek 4.** Zbiór pikseli, których wartości odpowiadają ich odległości od najbliższych ścian budynku



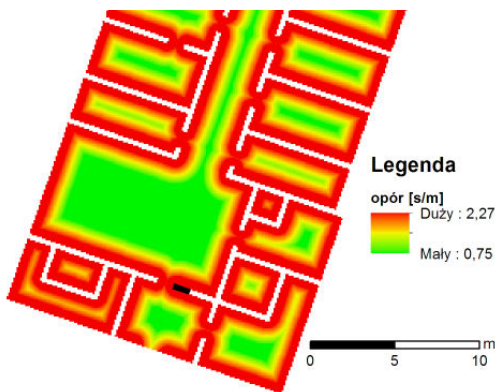
**Rysunek 5.** Wykres funkcji określającej zależność kosztu ruchu w relacji do odległości od ściany



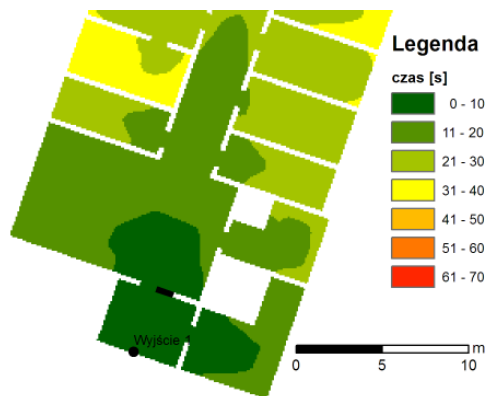
**Rysunek 6.** Wynik analizy wyznaczającej czas dotarcia do wyjść awaryjnych

*Koszt odległości.* Z rysunku 6 można odczytać, jaki jest czas dotarcia z każdego miejsca w budynku do najbliższego wyjścia z budynku.

Zaproponowany sposób wyznaczania powierzchni kosztu pozwala na przeprowadzanie badań wpływu ewentualnych zwężeń na czas ewakuacji. Rysunki 7 i 8 prezentują przykład takiej analizy, w której o połowę ograniczono szerokość drzwi znajdujących się tuż przed głównym wyjściem z budynku (co zaznaczono czarnym prostokątem). Porównując rysunki 6 i 8 można oszacować, o ile wydłużył się czas dotarcia do tego wyjścia.



**Rysunek 7.** Wynik przeskalowania odległości od ścian według funkcji zaprezentowanej na rysunku 5



**Rysunek 8.** Wynik analizy wyznaczającej czas dotarcia do wyjść awaryjnych z uwzględnieniem przeszkody (zaznaczonej czarnym prostokątem)

## Wnioski

Rozwijając koncepcję stosowanych w robotyce mobilnej siatek zajętości, w pracy zaproponowano zastosowanie danych w postaci rastrowej i narzędzi operujących na takich danych do modelowania procesu ewakuacji z budynków o złożonym układzie pomieszczeń. Przeprowadzone badania, których wyniki zaprezentowano w postaci przykładów analiz, potwierdzają postawioną na wstępie tezę. Dane rastrowe z całą pewnością nadają się do określania odległości do wyjść ewakuacyjnych oraz wskazania najbliższego wyjścia dla każdego miejsca w budynku. Co więcej, w odróżnieniu od powszechnie stosowanego wektorowego modelu reprezentującego pomieszczenia w postaci punktów połączonych liniami odpowiadającymi możliwym kierunkom ruchu, model rastrowy zapewnia objęcie analizą całej powierzchni pomieszczeń, co ma szczególne znaczenie w przypadku dużych ich rozmiarów.

Jeszcze inną zaletą rastra jest możliwość użycia go jako powierzchni kosztu (odchodząc od pierwotnego zerojedynkowego modelu siatki zajętości), co pozwala na modelowanie czasu dotarcia do wyjść ewakuacyjnych z uwzględnieniem ewentualnych utrudnień. Zaproponowana uproszczona koncepcja określania kosztu przemieszczania jako funkcji odległości od ścian, pozwala na uzależnienie prędkości ruchu od szerokości pomieszczeń i sprawdza się przy uwzględnianiu dodatkowych ograniczeń w tym zakresie. Nie zapewnia jednak modelu uwzględniającego potoki ludzkie i tym samym nie umożliwia oszacowania wpływu ich zachowania na wydłużenie czasu dotarcia do celu. W analizie nie uwzględniono również osób z ograniczeniami ruchu: starszych, dzieci lub też poruszających się na wózkach inwalidzkich. Ujmując to innymi słowami, można stwierdzić, że opracowano sposób uwzględniania wpływu przeszkód na czas ewakuacji, jednak pozostaje do wyjaśnienia kwestia wyskalowania modelu w taki sposób, żeby wpływ ten był zgodny z rzeczywistością. W kierunku powiązania szeroko rozumianego czynnika ludzkiego z kosztem ruchu będą prowadzone dalsze badania.

**Podziękowania:** Autor dziękuje członkom Koła Naukowego Geodetów „Dahlta” za udostępnienie danych wykorzystanych w pracy. Autor składa również podziękowania dwóm anonimowym Recenzentom, których uwagi pozwoliły uniknąć wielu błędów.

**Finansowanie:** Praca została zrealizowana w ramach Badań Statutowych nr 11.11.150.006 prowadzonych w Katedrze Geomatyki Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

## Literatura (References)

- Almejmaj M., Meacham B., Skorinko J., 2015: The effects of cultural differences between the west and Saudi Arabia on emergency evacuation-clothing effects on walking speed. *Fire and Materials* 39(4): 353-370.
- Ambroszkiewicz S., 2006: Reprezentacja przestrzenna środowiska na podstawie kognitywnych map obiektowych. Rozdział [W:] Postępy robotyki: Systemy i współdziałanie robotów (Spatial representation of the environment basing on cognitive object maps. Section [In:] Progress in robotics. Systems and cooperation of robots). Praca zbiorowa pod redakcją Krzysztofa Tchonia, Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności.
- Bielecka E., Filipczak A., 2010: Zasady opracowywania map dostępności (Principals of elaborating accessibility maps). *Roczniki Geomatyki* 8(6): 29-38, PTIP, Warszawa.
- Bosina E., Weidmann U., 2017: Estimating pedestrian speed using aggregated literature data. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 468: 1-29.



- Cichociński P., Dębińska E., 2016: Application of 3D network analysis for development of evacuation plans and procedures for multi-storey building. GIS ODYSSEY 2016: Geographic Information Systems Conference and Exhibition: 5th–9th September 2016, Perugia, Italy: conference proceedings: 63-69.
- Choi J., Lee J., 2010: Micro-Level Emergency Response: 3D Geometric Network and an Agent-Based Model. *Geospatial Techniques in Urban Hazard and Disaster Analysis*: 415-429.
- Curtin K.M., 2007: Network analysis in geographic information science: Review, assessment, and projections. *Cartography and Geographic Information Science* 34(2): 103-111.
- Desmet A., Gelenbe E., 2013: Reactive and proactive congestion management for emergency building evacuation. In Local Computer Networks (LCN), 2013 IEEE 38th Conference on IEEE: 727-730.
- Domínguez B., García Á.L., Feito F.R., 2012: Semiautomatic detection of floor topology from CAD architectural drawings. *Computer-Aided Design* 44(5): 367-378.
- Eckes K., 2008: Modelowanie przestrzeni budowli w GIS dla celów wspomaganie decyzji w zarządzaniu kryzysowym (Modelling of the building space in GIS to support decision-making in crisis management). *Roczniki Geomatyki* 6(5): 31-38.
- Eckes K., 2010: Analizy przestrzenne w czasie rzeczywistym dla wspomaganie akcji ratowniczych na terenach dotkniętych powodzią (Real-time GIS analyses for supporting rescue operations on flood disaster areas). *Roczniki Geomatyki* 8(6): 63-68, PTIP, Warszawa..
- Esri, 2017: ArcGIS Desktop Documentation. <http://desktop.arcgis.com/en/documentation/>
- Fridolf K., Andrée K., Nilsson D., Frantzych H., 2014: The impact of smoke on walking speed. *Fire and Materials* 38(7): 744-759.
- Gershon R.R., Magda L.A., Riley H.E., Sherman M.F., 2012: The World Trade Center evacuation study: Factors associated with initiation and length of time for evacuation. *Fire and Materials* 36(5-6): 481-500.
- Hong I., Murray A.T., 2016: Assessing Raster GIS Approximation for Euclidean Shortest Path Routing. *Transactions in GIS* 20(4): 570-584.
- Kady R.A., Davis J., 2009: The effect of occupant characteristics on crawling speed in evacuation. *Fire safety journal* 44(4): 451-457.
- Kevany M.J., 2003: GIS in the World Trade Center attack – trial by fire. *Computers, Environment and Urban Systems* 27(6): 571-583.
- Kobes M., Oberijé N., Duyvis M., 2010: Case studies on evacuation behaviour in a hotel building in BART and in real life. *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008*: 183-201.
- Kułakowski K., Wąs J., Szpyrka M., 2008: Dynamiczny model świata w sterowaniu autonomicznym robotem mobilnym (Dynamic world representation in control of autonomous mobile robot). *Automatyka* 12(3): 833-840, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.
- Li X., Claramunt C., Ray C., 2010: A grid graph-based model for the analysis of 2D indoor spaces. *Computers, Environment and Urban Systems* 34(6): 532-540.
- Li X., Hijazi I., Xu M., Meouche R., 2016: Implementing two methods in GIS software for indoor routing: an empirical study. *Multimedia Tools and Applications* 75(24): 17449-17464.
- Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (The notice of the Minister of Infrastructure and Development of July 17, 2015 on the announcement of the uniform text of the Decree of the Minister of Infrastructure on technical conditions of buildings and their locations). Dz.U. 2015 poz. 1422.
- Open Geospatial Consortium, 2016: OGC IndoorGML – with Corrigendum. <http://docs.opengeospatial.org/is/14-005r4/14-005r4.html>
- Parkitny Ł., Lupa M., Materek K., Ingot A., Pałka P., Mazur K., Koziół K., Chuchro M., 2013: Koncepcja i opracowanie Geoportalu AGH (The concept and development of AGH Geoportal). *Roczniki Geomatyki* 11(3): 79-85, PTIP, Warszawa.
- Peacock R.D., Reneke P.A., Kuligowski E.D., Hagwood C.R., 2017: Movement on stairs during building evacuations. *Fire Technology* 53(2): 845-871.
- Pu S., Zlatanova S., 2005: Evacuation route calculation of inner buildings. [In:] van Oosterom P.J.M., Zlatanova S., Fendel E.M. (Eds.), *Geo-information for disaster management*: 1143-1161, Springer Verlag, Heidelberg.

- Seike M., Kawabata N., Hasegawa M., 2016: Experiments of evacuation speed in smoke-filled tunnel. *Tunnelling and Underground Space Technology* 53: 61-67.
- Stringfield W.H., 2000: Emergency planning and management: ensuring your company's survival in the event of a disaster. Government Institutes.
- Sun J., Li X., 2011: Indoor evacuation routes planning with a grid graph-based model. [In:] *Geoinformatics, 2011 19th International Conference on IEEE*: 1-4.
- Szczygieł R., 2012: Wielkoobszarowe pożary lasów w Polsce (Large-area Forest Fires in Poland). *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*: 67-78.
- Taneja S., Akinci B., Garrett J.H., Soibelman L., 2016: Algorithms for automated generation of navigation models from building information models to support indoor map-matching. *Automation in Construction* 61: 24-41.

### **Streszczenie**

*Od kilku lat można obserwować próby zastosowania metod i narzędzi systemów informacji geograficznej do modelowania ewakuacji z budynków. Na potrzeby ewakuacji, ale także nawigacji, przestrzeń wewnątrz budynków jest zwykle modelowana za pomocą grafu, określającego wzajemne powiązania pomiędzy pomieszczeniami, w którym obiekty punktowe – węzły reprezentują pomieszczenia, a krawędzie – obiekty liniowe, łączą pary węzłów.*

*Celem prac zaprezentowanych w artykule było zbadanie, czy możliwe jest zastosowanie danych w postaci rastrowej (bazujących na koncepcji używanych w robotyce mobilnej siatek zajętości) do modelowania procesu ewakuacji. W szczególności postawiono tezę, że dane rastrowe nie tylko umożliwiają modelowanie ewakuacji z budynków, ale również pozwalają na uwzględnienie w analizie czynników, których nie można ująć w modelu wektorowym, bądź jest to bardziej skomplikowane. Tezę tę udowodniono przez wiele eksperymentów na danych reprezentujących rzeczywisty obiekt. Przeprowadzone badania wykazały zalety danych w postaci rastrowej: łatwość uzyskania na podstawie zapisanych cyfrowo planów architektonicznych oraz możliwość (dzięki zastosowaniu narzędzia Koszt odległości) określenia nie tylko odległości z każdego miejsca w budynku do najbliższego wyjścia ewakuacyjnego, ale również uwzględnienia w tym samym modelu przeszkód utrudniających przemieszczanie się i oszacowania ich wpływu na wydłużenie czasu dotarcia do celu. Zaproponowana koncepcja określania kosztu przemieszczania jako funkcji odległości od ścian pozwoliła na uzależnienie prędkości ruchu od szerokości pomieszczeń.*

### **Abstract**

*Over the recent years, attempts to use geographic information systems methods and tools for modelling evacuation of buildings can be observed. In applications related to evacuation and, also, navigation, the space inside buildings is usually modelled with the use of graphs that represent interrelations between rooms. Then point objects (nodes) represent rooms and edges (linear objects) link pairs of nodes.*

*The objective of the work described in this paper is to examine whether it is possible to use raster data – based on the occupancy grid concept used in mobile robotics – for modelling evacuation. In particular, the study thesis assumes that raster data are not only applicable to modelling evacuation, but they also enable us to consider factors, which either cannot be included in the vector model at all or their consideration proves to be much more complicated. The thesis was proven in a series of experiments on data representing a real object. The studies revealed advantages gained while using raster data for the above mentioned purpose, i.e.: the availability (easily obtainable from architectural plans) and possibility to determine the distance between every location in the building and the emergency exit (owing to Cost Distance tool) and, also, the possibility to consider obstacles that impede movement, as well as to assess their impact on the time needed to reach the destination. The proposed concept of determining the movement cost as a function of the distance from the walls allowed to express the speed of movement as the function of the rooms' width.*

Dane autora / Autor details:

dr hab. inż. Piotr Cichociński  
<https://orcid.org/0000-0002-8633-1235>  
Piotr.Cichocinski@agh.edu.pl

*Przesłano / Received 29.07.2017*

*Zaakceptowano / Accepted 6.09.2017*

*Opublikowano / Published 30.12.2017*

