

ANALIZY LOGISTYCZNE W GIS CZASU RZECZYWISTEGO DLA ZAPEWNIENIA BEZPIECZEŃSTWA IMPREZ MASOWYCH*

LOGISTIC ANALYSES IN REAL TIME GIS TO ENSURE SAFETY OF MASS EVENTS

Konrad Eckes

Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Geomatyki
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Słowa kluczowe: GIS czasu rzeczywistego, logistyka potoku pieszych, bezpieczeństwo imprez masowych

Keywords: real-time GIS, logistics of pedestrian stream, safety of mass events

Wprowadzenie

Zbiorowości ludzkie wraz z ich wieloma cechami były obiektami przestrzeni w kartografii analogowej, jak również obecnie są obiektami w systemach informacji przestrzennej. Zbiorowości takie były i nadal są przedstawiane w postaci map demograficznych. Systemy informacji przestrzennej dostarczyły narzędzi do wykonywania wielu analiz, w których populacje i ich cechy mogą być przedmiotem wielu studiów dla celów rozwoju gospodarki i opisu środowiska życia społeczeństwa.

Współczesne trendy rozwojowe w dziedzinie informacji geoprzestrzennej podkreślają tendencje szerokiego rozpatrywania zjawisk i procesów z uwzględnieniem relacji przestrzennych (Gaździcki, 2012). Również podkreślają znaczenie takich relacji dla podniesienia jakości życia społeczeństwa i zapewnienia bezpieczeństwa prywatnego i publicznego.

Mimo dalszego rozwoju demokracji i wielkiego postępu techniki – bezpieczeństwo zbiorowe ludzi i indywidualnych obywateli podlega we współczesnym świecie różnym zagrożeniom. Odrzucając nawet przyczyny zewnętrzne, jakim jest między innymi terroryzm – zbiorowości ludzkie podlegają wielu zagrożeniom wynikającym z warunków środowiskowych – z życia w zagęszczonych wielkich aglomeracjach, w zagrożeniu klęskami żywiołowymi, klęskami ekologicznymi, epidemią lub wypadkami komunikacyjnymi.

* Przedstawiona w niniejszym artykule tematyka została opracowana w ramach badań statutowych Katedry Geomatyki AGH w roku 2012, temat nr 11.11.150.006.

Już samo spiętrzenie zbiorowości ludzkich, tak powszechne w czasie imprez masowych (sportowych, rozrywkowych) lub w czasie uroczystości religijnych – stwarza realne zagrożenie. Ostatnie lata dostarczyły bardzo wielu przykładów tragedii ludzkich wywołanych zachowaniem się tłumu skupionego na ograniczonym obszarze (Crowd disasters, 2012).

Współczesna literatura fachowa, badająca zachowanie się dużych zbiorowości, szeroko skupia się na aspektach psychologicznych ludzkich zachowań, w miejscach o ograniczonym zasięgu, w wąskich przejściach. Pojawiają się także coraz szerzej uwzględniane relacje przestrzenne (Longley i in., 2006). Wydaje się jednak celowe zwrócenie największej uwagi na profilaktykę i zapewnienie bezpieczeństwa przez analizy logistyczne i taką organizację skupisk ludzi, aby zapewnić wysoki stopień bezpieczeństwa.

Nie można wyeliminować z życia społeczeństwa potrzeby rozrywki i wspólnego przeżywania emocji sportowych. Zdobyte techniki doprowadziły do stosowania bezpiecznych materiałów i konstrukcji budowlanych. Logistyka rozmieszczenia wielkiej zbiorowości uczestników imprez sportowych i rozrywkowych zapewnia względne bezpieczeństwo. Ale stadion lub hala sportowa jest tylko zasadniczą częścią imprezy masowej – druga część rozgrywa się w otoczeniu, które jest powszednim środowiskiem życia człowieka, nie zawsze odpowiednio przystosowanym do przyjęcia potoku mas ludzkich w krótkim, ograniczonym czasie.

Podsumowując, mamy tu do czynienia z dwoma aspektami:

- Aspekt przestrzenny: obiekt imprezy masowej skupia znaczną zbiorowość w formie statycznej (jako uczestników); otoczenie obiektu (lokalna strefa miasta) jest miejscem procesu przepływu tłumu przed imprezą i rozprowadzenia go po imprezie.
- Aspekt czasowy: okres gromadzenia się uczestników imprezy (rozłożony w czasie); okres imprezy (jednoznaczny w czasie); okres rozprowadzenia zbiorowości po zakończeniu imprezy (w atmosferze pewnej presji czasowej).

Jeżeli połączymy ze sobą trzy fakty:

- przebywanie znacznej liczby ludzi w strefie lokalnej miasta,
- fakt ruchu potoku pieszych, przemieszczającego się tłumu, od obiektu imprezy do różnych rejonów miasta lub do przystanków komunikacji i miejsc parkowania,
- występowanie pewnej presji czasowej na sprawność tego ruchu

to możemy wyprowadzić wniosek, że ta faza imprezy masowej musi być szczególnie starannie przygotowana i zabezpieczona. Analiza właśnie tej fazy jest przedmiotem rozważań w niniejszym artykule. Podejmijmy próbę zwrócenia szczególnej uwagi na relacje przestrzenne, na analizy i wizualizacje w systemie informacji przestrzennej GIS.

W języku potocznym wielka zbiorowość ludzi nazywana jest tłumem, natomiast ten termin w psychologii społecznej ma szczególne znaczenie, w którym zwraca się uwagę na zachowanie się ludzi, będących uczestnikami takiej zbiorowości. Funkcjonuje tu podstawowa teza, że jednostka ludzka w tłumie zachowuje się inaczej niż poza jego zasięgiem. Aby nie wiązać niniejszych rozważań z psychologicznymi aspektami analizy i anomalii zachowań ludzkich – będziemy unikać terminu „tłum” i zastępować go między innymi terminem „potok pieszy”, stosowanym w technicznym znaczeniu kontroli i sterowania zbiorowością ludzi (Charakterystyka ruchu pieszego, 2012).

Analiza logistyczna dróg rozprowadzenia uczestników po imprezie masowej oraz środki techniczne do kontrolowania zachowania się potoku pieszych

Głównym zadaniem rozprowadzenia uczestników po imprezie masowej jest zachowanie płynności ruchu, kontrolowanie dopuszczalnej gęstości oraz rozpraszanie spiętrzeń. Dla osiągnięcia tych celów należy:

- 1) rozpracować w GIS dane logistyczne dróg rozprowadzenia uczestników imprezy masowej,
- 2) przygotować środki techniczne do badania gęstości i zachowania się potoku pieszych,
- 3) dokonać obliczeń do formowania potoku pieszych, przewidzianego dla konkretnego kierunku rozprowadzenia uczestników imprezy masowej.

W zakres zadania pierwszego wchodzi studia danej drogi, wyznaczenie wąskich miejsc, dopasowanie korytarza przepływu potoku pieszych do szerokości miejsca o minimalnym wymiarze, ustalenie powierzchni rezerwowych oraz odcinków o wysokim stopniu ryzyka – dróg przez mosty, wiadukty i tunele.

Zadania drugie pozostaje poza tematem naszych rozważań, jednak należy podkreślić, że do analizy logistycznej w GIS czasu rzeczywistego oraz do badania gęstości i zachowania się potoku pieszych, konieczne są środki obserwacji, łączności oraz sprzęt do spowalniania ruchu.

Grupa zadań o numeracji (3) zawiera głównie obliczenia dopuszczalnej gęstości i szybkości posuwania się potoku pieszego w danym kierunku. Obliczenia dotyczą także zasad formowania potoku w danym kierunku po zakończeniu imprezy.

Rysunek 1 przedstawia fragment mapy wielkoskalowej z sytuacją ulicy przewidzianej do rozprowadzenia potoku pieszych po zakończeniu imprezy masowej. Założono całkowite wyłączenie ulicy z ruchu kołowego. Tor ruchu pieszych został przeniesiony na jezdnię, gdzie nie ma przeszkód takich jak słupy oświetleniowe, znaki drogowe, sygnalizatory, hydranty, budki telefoniczne, drzewa i kwietniki.

Dla wyznaczenia toru ruchu pieszego został wykonany bufor osi jezdni o takiej szerokości, aby nie przekraczał prześwietu miejsc przewężonych. W obrębie toru zostały zaprojektowane sektory obserwacyjne. Strefy pozostające poza torem ruchu (wyznaczonym przez bufor osi jezdni) – stanowią naturalną rezerwę – gdyby zaistniała konieczność awaryjnego rozgęszczenia zbiorowości (rys.1).

Kolejnej analizie logistycznej podlegają potencjalne miejsca większego rozproszenia tłumu, takie jak place oraz ulice przecinające wyznaczoną trasę potoku pieszych. Należy zwrócić szczególną uwagę na te odcinki trasy, które są pozbawione powierzchni rezerwowych – jak przejścia przez mosty, wiadukty i tunele – stwarzające szczególne zagrożenie w przypadku powstania spiętrzenia potoku pieszych.

Powracając do zadań o oznaczeniu (3) należy wyznaczyć przybliżoną liczbę uczestników imprezy masowej, która wybierze dany kierunek opuszczenia obiektu imprezy. Tę liczbę można zweryfikować monitorując populację przychodzącą z tego kierunku przed rozpoczęciem imprezy. Zweryfikowana liczba pozwoli uformować potok pieszych w taki sposób, aby zapewnić płynny i sprawny ruch. Eksperymentalnie można przyjąć, na podstawie literatury (Charakterystyka ruchu pieszego, 2012), że szybkość potoku pieszych powinna oscylować wokół wartości 1,3 metra/sekundę (4,7 km/godzinę), co jest równoznaczne z przejściem odcinka 100 metrów w czasie 77 sekund.

Monitorowanie i wizualizacja w czasie rzeczywistym zachowania się potoku pieszych za pomocą narzędzi systemowych GIS

Środki techniczne (kamery), służące do monitorowania poruszającego się potoku pieszego, w poszczególnych sektorach przykładowej drogi rozprowadzania tłumu, pozwalają na wyznaczanie średniej gęstości, wyrażonej w liczbie osób przypadających na jednostkę powierzchni. Rysunki 2, 3, 4, i 5 przedstawiają w poglądowy sposób wskaźniki tej gęstości w poszczególnych sektorach.

Rysunek 2 jest obrazem 2D, który przedstawia gęstość na podkładzie mapy wielkoskalowej – za pomocą opisu liczbowego oraz barwami – zgodnie z zamieszczoną legendą.

Rysunek 3 przedstawia wskaźnik gęstości takimi samymi barwami, na tle obrazu 3D istniejącej zabudowy. Taki obraz pozwala ocenić relację zagęszczenia potoku pieszych na tle powierzchni rezerwowej i istniejącej zabudowy, blokującej lub umożliwiającej rozproszenie zbiorowości w przypadku wystąpienia nadmiernego zagęszczenia.

Rysunek 4 przedstawia inny sposób wizualizacji gęstości potoku pieszego – w postaci obrazu 3D. Taki sposób wizualizacji prezentuje wskaźnik gęstości w sposób najbardziej poglądowy dla nadzorujących proces zabezpieczenia imprezy masowej.

Rysunek 5 przedstawia zupełnie inny sposób wizualizacji wskaźnika gęstości – jest funkcją gęstości w poszczególnych sektorach, zarejestrowaną w jednym z kolejnych punktów czasowych – na tle linii obrazujących stan pożądany (kolor zielony), ostrzegawczy (kolor żółty) i krytyczny (kolor czerwony). Barwy tych linii zostały tak dobrane aby poglądowo odzwierciedlały wymienione stany. Taki wykres jest funkcją gęstości odniesioną do kilometrażu trasy, liczonego wzdłuż jej osi, niezależnie od jej załamań przy przejściu do kolejnych ulic.

Przedstawione cztery sposoby wizualizacji zostały zaadresowane do nadzorujących rozprowadzanie potoków pieszych po imprezie masowej – o różnym stopniu zaawansowania wycucia przestrzennego, o skupianiu się na obserwacji samego potoku lub tego potoku na tle istniejącej sytuacji zabudowy. Trzy pierwsze sposoby skupiają uwagę na sytuacji lokalnej, czwarty sposób przedstawia łączny stan, złożony z sekwencji kolejnych ulic.

Rys. 1. Mapa wielkoskalowa ulicy przygotowanej do rozprowadzenia potoku pieszych po imprezie masowej; jezdnia (wyłączona z ruchu kołowego) przyjmuje funkcję ciągu pieszego, na którym zostały zaprojektowane sektory obserwacyjne; pozostałe części ulicy, wolne od zabudowy, tworzą strefy lokalnych rezerw terenowych

Rys. 2. Wizualizacja gęstości potoku pieszych na tle mapy sytuacyjnej ulicy; wyznaczone wskaźniki gęstości zostały zapisane na konturach sektorów obserwacyjnych; dodatkowo, dla poglądowego przedstawienia stopnia zagęszczenia potoku pieszych – zastosowano skalę barw opisaną w legendzie

Rys. 3. Wizualizacja gęstości potoku pieszych w relacji do rezerwy terenowej i zabudowy ulicy; celem wizualizacji jest zwrócenie uwagi na lokalne ograniczone możliwości awaryjnego rozproszenia tłumu ze względu na zwartą zabudowę ulicy, przedstawioną w wersji 3D

Rys. 4. Poglądowa wizualizacja gęstości potoku pieszych jako obraz bloków 3D, utworzonych na sektorach obserwacyjnych ulicy; skala barw, opisana w legendzie, dodatkowo wzmacnia plastykę obrazu

Rozprowadzanie lokalnych spiętrzeń potoku pieszych

Mimo ciągłego monitorowania i kontrolowania gęstości potoku pieszych oraz utrzymywania płynności ruchu – mogą zaistnieć różne przyczyny wywołujące lokalne spiętrzenia. Takie spiętrzenia mogą być wywołane przez nieoczekiwane przeszkody wstrzymujące ruch: dopuszczony i regulowany poprzeczny ruch kołowy, przystanki komunikacji miejskiej. Przyczyny mogą tkwić także w zachowaniu się samego potoku pieszych, może to być jedno z niepożądanych zachowań, na przykład samowolne nagłe przyspieszenie ruchu. W przypadku wystąpienia lokalnego spiętrzenia należy go rozładować, kierując się następującymi zasadami:

- proces rozładowania lokalnego spiętrzenia nie może spowodować spiętrzenia w innym miejscu potoku pieszych,
- nie można rozładowywać spiętrzenia przez wymuszanie przyspieszenia ruchu potoku pieszych, można stosować tylko ograniczone opóźnianie ruchu,
- spiętrzenia lokalne w większej odległości od obiektu imprezy masowej nie można rozładowywać przez wstrzymywanie formowania potoku przy obiekcie imprezy, spiętrzenie trzeba rozładować w środowisku lokalnym.

Zasada rozładowywania spiętrzenia została przedstawiona na rysunku 6. Kolejne rysunki 6a, 6b i 6c nie są wykresami funkcji, są schematycznym obrazem „przepływającej strugi” pieszych, na rysunku – od lewej do prawej. Oś pionowa reprezentuje wskaźnik gęstości na tle linii stanu pożądanego (linia zielona), ostrzegawczego (linia żółta) i krytycznego (linia czerwona). Linie pionowe reprezentują stany gęstości w kolejnych obserwowanych interwałach czasowych.

Rysunek 6a przedstawia schematycznie lokalne spiętrzenie, które należy rozładować. Gdyby na drodze „płynącej strugi” została posadowiona nieruchoma blokada *B*, nie przepuszczająca żadnego nadmiaru gęstości ponad standard zielonej linii – doprowadziłoby to do powstania jeszcze większego spiętrzenia (rys. 6b). Dlatego spiętrzenie trzeba rozprowadzić w taki sposób, aby nie podwyższać znacznie gęstości, lecz ją rozproszyć, przemieszczając symboliczne „kostki” (rys. 6c) do dalszej części płynącej strugi, ale zachowując kierunek od lewej do prawej (jak wskazują liczby na rysunku 6c). Zatem sposób postępowania polega na sukcesywnym rozgęszczaniu fragmentów napływającej strugi, aby znalazło się miejsce na rozprowadzenie „kostek” z bieżącego spiętrzenia.

Taki tok postępowania może być zapisany w postaci algorytmu, wspomagającego sterowanie potokiem pieszych (rys. 7). Formułując zapisane w algorytmie zasady można podkreślić ich główną ideę, że należy w miarę możliwości rozpraszać spiętrzenia lokalnie, ponieważ zdecydowanie łatwiej jest zapanować nad mniejszą grupą ludzi, niż nad całym potokiem pieszych, uformowanym na znacznie wydłużonym obszarze. Ten sposób likwidacji spiętrzenia można zapisać w postaci zwartej zasady: należy rozpraszać duże spiętrzenia przez wywoływanie wielu bardzo małych.

Na koniec warto zauważyć możliwość tworzenia się serii pulsujących spiętrzeń lokalnych. Takie pulsujące spiętrzenia mogą powstawać przed kolejnymi przecznicami drogi potoku pieszego, jeżeli na tych przecznicach został dopuszczony okresowy ruch kołowy. Taka seria spiętrzeń może wystąpić także w przypadkach, gdy wzdłuż drogi potoku pieszego biegnie torowisko miejskiej komunikacji szynowej. Wtedy pewne wybrane grupy pieszych decydują się na pozostanie na przystankach i tym samym powodują lokalne spiętrzenia.

<p>JEŻELI zostało zaobserwowane spiętrzenie lokalne, którego gęstość zbliża się do żółtej linii ostrzegawczej</p> <p>WTEDY sprawdź jaki jest stan w sektorach kolejnych (po lewej) „płynącej strugi” pieszych</p> <p>JEŻELI w bezpośrednim sąsiedztwie występuje stan na poziomie zielonej linii lub poniżej</p> <p>WTEDY w tym sąsiedztwie zastosuj niewielkie wstrzymanie potoku pieszych, by nadmiar przeniósł się do kolejnych sektorów</p> <p>JEŻELI w bezpośrednim sąsiedztwie stan wskaźnika zagęszczenia przekracza zieloną linię</p> <p>WTEDY znajdź rejon sektorów bliższy obiektu imprezy i zastosuj niewielkie wstrzymanie strugi we wszystkich sektorach pośrednich, aby nadmiar został rozproszony do kolejnych sektorów, uprzednio rozrozszczonych</p> <p>JEŻELI na długości całego kompletu sektorów pomiędzy lokalnym spiętrzeniem a miejscem formowania potoku wskaźnik przekracza linię zieloną</p> <p>WTEDY zarządzaj chwilową przerwę w formowaniu potoku pieszych przy obiekcie imprezy i na całej długości zastosuj niewielkie wstrzymanie potoku, aby rozprowadzić maksymalny stan lokalnego spiętrzenia – na mniejsze stany, rozłożone na kolejne napływające odcinki „płynącej strugi”</p>
--

Rys. 7. Algorytm wspomagający sterowanie potokiem pieszych

Seria spiętrzeń ma negatywny wpływ na utrzymanie płynności potoku. Natomiast jej charakter utrudniający regulację jest osłabiony faktem, że kolejne spiętrzenia są coraz mniejsze, ponieważ zarówno ulice poprzeczne, jak i przystanki komunikacji miejskiej w pewnym stopniu rozładują gęstość potoku pieszych.

Podsumowanie i wnioski

Zbiorowości ludzkie wraz z ich wieloma cechami są obiektami i mogą być traktowane w systemach informacji przestrzennej GIS tak samo jak obiekty infrastruktury lub przyrody. Można je opisywać statycznie lub jako zmienne w czasie, można analizować ich zmienność w relacji do sytuacji lokalnej. Problematyka analizy zmiennej zbiorowości ludzkiej występuje między innymi w czasie imprez masowych, gdzie występują trzy fazy: gromadzenie się ludzi, statyczny udział w imprezie oraz rozproszenie zbiorowości. Spośród tych trzech faz czasowych – rozproszenie zbiorowości ma szczególne znaczenie, ponieważ wiąże się z przebywaniem znacznej liczby ludzi w strefie lokalnej miasta, nie zawsze odpowiedniej dla takiej liczby, z występowaniem pewnej presji czasowej na sprawność procesu rozproszenia. Zatem ta faza imprezy masowej musi być szczególnie starannie zabezpieczona.

Faza rozprowadzenia zbiorowości po imprezie masowej była przedmiotem naszych rozważań logistycznych, z wykorzystaniem narzędzi GIS. W niniejszej pracy nie uwzględniano anomalii zachowywania się licznej zbiorowości. Ta bardzo szeroka problematyka psycholo-

gii tłumu wymaga oddzielnego potraktowania. Dlatego nie stosowano terminu tłum, który w psychologii społecznej nierozłącznie związany jest z cechami behawiorystycznymi.

Wstępnym zadaniem logistycznym były studia dróg i wyznaczenie korytarza dla potoku pieszych. Następnie zaproponowano cztery sposoby wizualizacji tego potoku: obraz lokalny potoku, obraz w relacji do istniejącej zabudowy w wersji 2D i 3D oraz kompleksowy obraz przeglądowy z sekwencji kolejnych ulic.

Mimo ciągłego monitorowania potoku pieszych oraz utrzymywania płynności ruchu – mogą zaistnieć spiętrzenia, które należy rozładować. Zostały podane zasady likwidacji spiętrzeń – w postaci opisowej, ilustrowanej rysunkiem oraz w postaci algorytmu. W bardzo zwartej formie zasadę rozładowania spiętrzeń można określić jako rozpraszanie dużego spiętrzenia przez wywoływanie wielu bardzo małych.

System informacji przestrzennej GIS dostarcza wielu narzędzi do kompleksowej, wariantowej i poglądowej wizualizacji zmiennej zbiorowości ludzkiej, w wersji 2D i 3D, także monitorowanej w czasie rzeczywistym – w relacji do rzeczywistości geograficznej.

W czasach współczesnych ludzie często biorą udział w imprezach skupiających znaczną liczbę uczestników – w imprezach sportowych, rozrywkowych lub w uroczystościach religijnych. Każda większa zbiorowość podlega zagrożeniom zewnętrznym lub wewnętrznym. Władze lokalne, które w krajach demokratycznych pełnią rolę służebną dla swoich społeczeństw, mają obowiązek zapewnić obywatelom bezpieczeństwo. Niniejsza praca udowadnia, że system informacji przestrzennej GIS może pełnić podstawową funkcję w zapewnieniu takiego bezpieczeństwa.

Literatura

- Charakterystyka ruchu pieszego, 2012: strona <http://www.aneub.neostrada.pl/IR/W6IR.pdf>, stan na dzień 20.07.2012 r.
- Crowd disasters, 2012: strona <http://www.safercrowds.com/CrowdDisasters.html>, stan na dzień 20.07.2012 r.
- Gaździcki J., 2012: Trendy rozwojowe w dziedzinie informacji geoprzestrzennej. *Roczniki Geomatyki* t. 10, z. 3(53): 7-16: PTIP, Warszawa.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2006: GIS. Teoria i praktyka. Rozdział 16: 382-386, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Saunders T., 2012: Fizyka tłumu, (tłum. z jęz. angielskiego) strona <http://www.scienceinschool.org/2011/issue21/crowding/polish>, stan na dzień 20.07.2012 r.

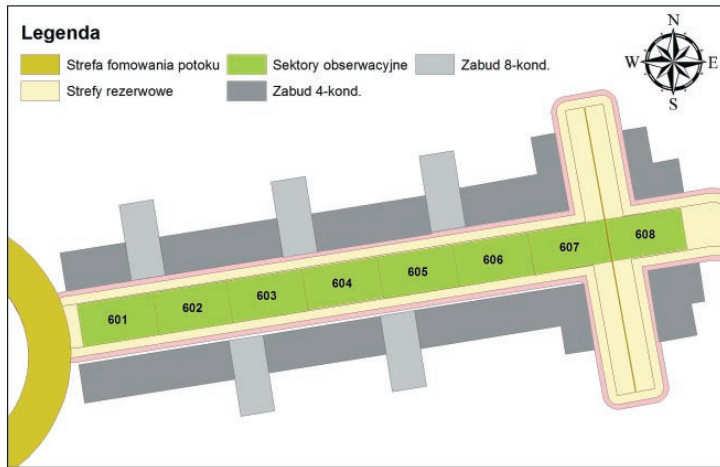
Abstract

People may be treated in GIS as objects of infrastructure or objects of nature. They may be described as static or time-varying, their variation can be analyzed in relation to the local situation. The problem of their analysis appears, among others, during mass events, where three phases exist: gathering of people, their static participation in the event and their dispersion at the end. From the three above mentioned phases – the dispersion of population is most important.

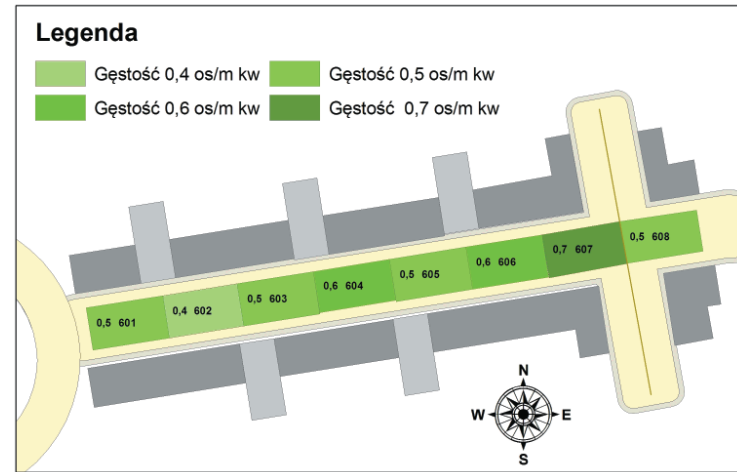
This phase of the population after the event is the subject of logistical considerations in the present study, using GIS tools. The initial task is to study the routes and designate a corridor for the stream of pedestrians. Four ways of the stream visualizing was proposed: a picture of a local stream, picture in relation to existing buildings in 2D and 3D and an integrated picture comprising the sequence of streets.

This study shows that GIS can play a useful role in ensuring safety and security.

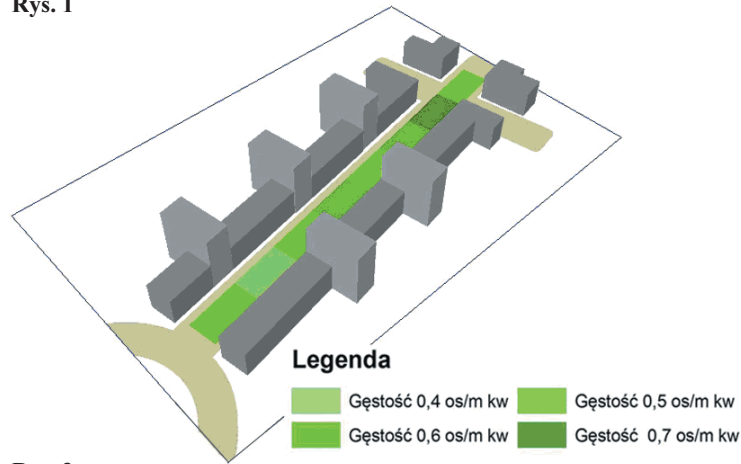
prof. dr hab. inż. Konrad Eckes
keckes@agh.edu.pl
tel. +48 12 617-23-05



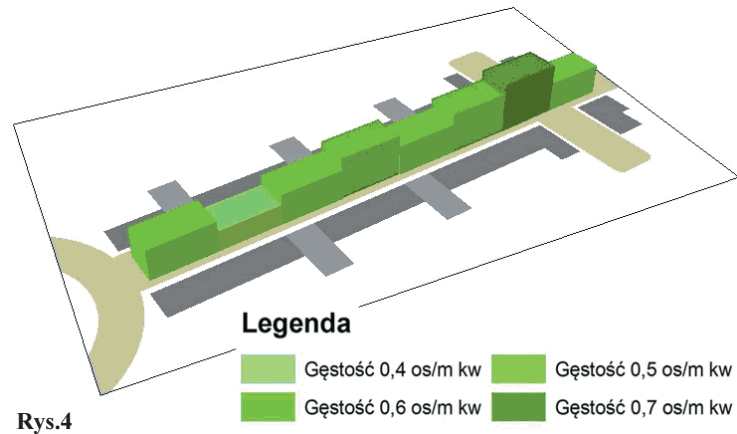
Rys. 1



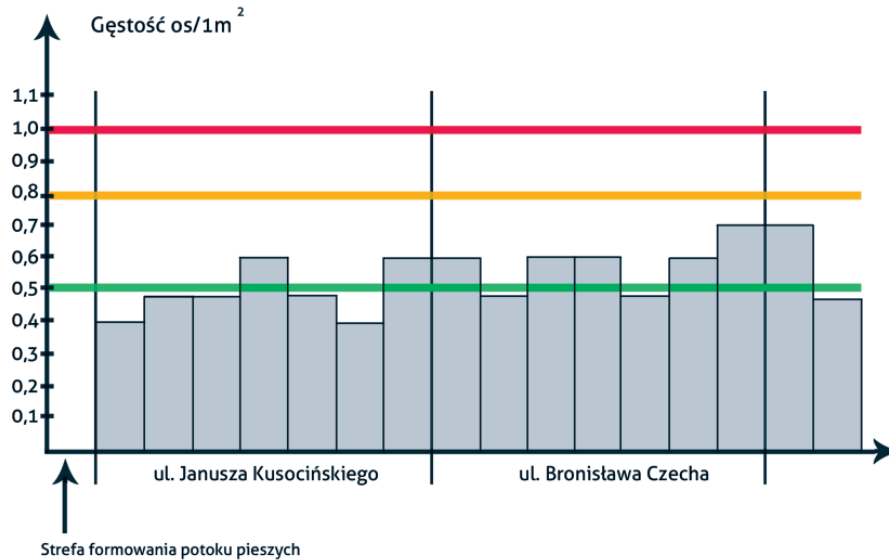
Rys. 2



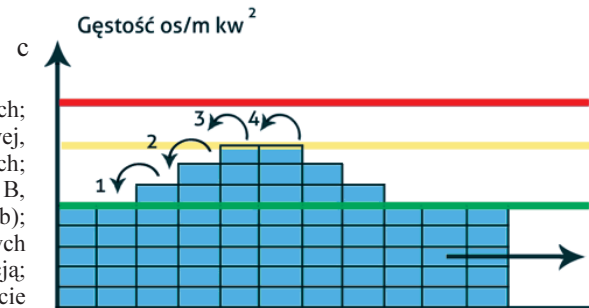
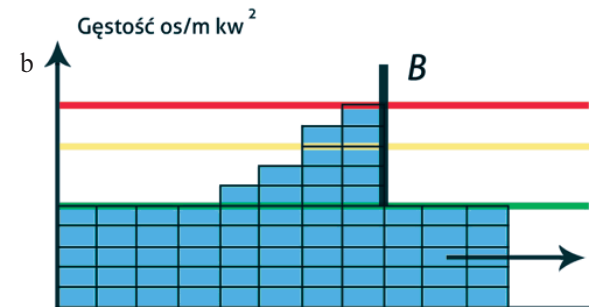
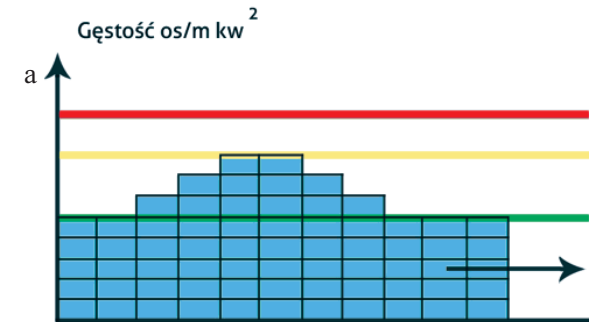
Rys. 3



Rys.4



Rys. 5. Wykres gęstości potoku pieszych w poszczególnych sektorach obserwacyjnych jako funkcja kilometrażu drogi ewakuacyjnej, obejmującej ciąg kolejnych ulic; takie wykresy mogą być sporządzane dla określonych punktów czasowych; wykres zawiera linie progowe wskaźnika gęstości: stan pożądany (linia zielona), próg ostrzegawczy (linia żółta) oraz próg krytyczny (linia czerwona)



Rys. 6. Zasada rozładowywania lokalnych spiętrzeń, powstałych w potoku pieszych; ruch pieszych został przedstawiony symbolicznie jako „płynąca struga” od lewej do prawej, obserwowana w kolejnych interwałach czasowych; lokalne spiętrzenie (rys. 6a) nie może być rozładowane za pomocą blokady B, ponieważ prowadziłoby to do krytycznego spiętrzenia (rys. 6b); rysunek 6c ilustruje zasadę rozładunku spiętrzenia przez przemieszczanie symbolicznych „kostek” w kolejności zgodnej z numeracją; szczegółowy opis zasady – w tekście