

kpt. dr inż. Paweł GROMEK
Szkola Główna Służby Pożarniczej w Warszawie
Joanna KOZIOŁ

Wpływ samoewakuacji na wybrane parametry ruchu drogowego podczas masowej ewakuacji ludności – część 1¹

Influence of Volunteer Evacuation for Some Road Traffic Parameters During Mass Evacuation of People – Part 1

Omówienie

Artykuł przedstawia wyniki analizy wybranych parametrów ruchu drogowego w warunkach masowej ewakuacji ludności. W części pierwszej główną uwagę zwrócono na wpływ samoewakuacji na prędkości pojazdów, czas ich przebywania i średnie dystanse pokonywane w sieci drogowej strefy ewakuacji.

Artykuł rzucił światło na wieloaspektowość i złożoność problematyki modelowania ruchu podczas masowej ewakuacji ludności. Ponadto, ukazano możliwe obszary zastosowań oprogramowania VISSIM w symulacji ruchu w ramach masowej ewakuacji ludności.

Słowa kluczowe: samoewakuacja, ewakuacja masowa, VISSIM, ruch drogowy

Summary

Traffic modeling is an integral aspect of mass evacuation of people issues. Usage of the transport engineering output allows to get information crucial in management (planning, organizing, leading and controlling) processes related with safety of both evacuated and evacuating people.

VISSIM® (PTV Group®), as a computational, transport engineering tool, is worth to mention. It is widely used by subjects managing the road traffic. In spite of the fact, that the VISSIM is not directly dedicated to mass evacuation simulation needs, the VISSIM dynamic assessment module makes possible to get information concerning evacuation parameters.

¹ Artykuł został przygotowany z uwzględnieniem wyników statutowej pracy naukowo-badawczej pt. Badanie przestrzeni publicznej – skala i wpływ samoewakuacji ludności na ewakuację masową. Numer tematu: S/E – 422/5/13.

As a result of 45 VISSIM simulations, the authors gathered data concerning average vehicles speed distribution, vehicle distance distribution and distribution of times dedicated to vehicles present in the road net. In general, it was proved, that volunteer evacuation could have negative influence for traffic conditions during mass evacuation of people. Raising volunteer evacuation scale caused raising the vehicle distances and times parameters.

As far as the authors are concerned, further research is needed – the research directed to elementary analysis of traffic determinants as well as further VISSIM application possibilities in mass evacuation reality.

Keywords: volunteer evacuation, mass evacuation, VISSIM, road traffic

Wprowadzenie

Analizując doniesienia medialne z różnych stron świata, można dojść do wniosku, że samoewakuacja jest jednym z najczęściej wykorzystywanych sposobów ochrony ludności w obliczu zagrożeń bezpieczeństwa militarnego i powszechnego². Należy zaznaczyć, że pozwala ona zaoszczędzić zasoby podmiotów zarządzania kryzysowego i ich wykonawczych odpowiedników – zasoby, które dzięki temu mogą zostać dysponowane do realizacji innych zadań na rzecz bezpieczeństwa społeczności lokalnych.

Jednakże niezwykle trudno o sytuację, kiedy to wszystkie osoby znajdujące się w strefie zagrożenia mogą się z niej samodzielnie ewakuować do strefy uznawanej w danym momencie za bezpieczną. Osoby starsze, niedołączone, z niepełnosprawnościami, hospitalizowane czy też przebywające w placówkach penitencjarnych wymagają ewakuacyjnej opieki ze strony państwa. Poddanie ich samoewakuacji to działanie wyjątkowo ryzykowne w stosunku do nich samych, a także w odniesieniu do osób znajdujących się w ich bezpośrednim otoczeniu. Samoewakuacja prowadzona jest więc przeważnie równoległe z ewakuacją zorganizowaną, wiążącą się z zapewnieniem pojazdów komunikacji zbiorowej i/lub przewodników grup pieszych. Stanowi to wyzwanie dla osób starających się uchwycić tę problematykę w sposób inżynierski³.

Rozwijając powyższą myśl, o ile ewakuacja z obiektów budowlanych wiąże się głównie z prowadzeniem badań nad potokami osób pieszych, o tyle charakter masowej ewakuacji ludności determinuje konieczność dodatkowego skupienia uwagi na zagadnieniach z szerokiego zakresu inżynierii transportu⁴. Wyniki ana-

² <http://edition.cnn.com/2011/WORLD/asiapcf/03/25/japan.nuclear.disaster/> (26.01.2015 r., 15:47), <http://www.ready.gov/evacuating-yourself-and-your-family> (26.01.2015 r., 15:55), SLG 101: Guide for All-Hazard Emergency Operations Planning, FEMA, 1996, <http://www.bbc.co.uk/news/world-africa-12616304> (26.01.2015 r., 16:02).

³ Szerzej, P. Tofiło, M. Cisek, K. Łącki: Selection of Evacuation Scenarios for Evacuation Simulations, *Zeszyty Naukowe SGSP* 2012, nr 44, s. 99–109.

⁴ Szerzej, J. de Dios Ortuzar, L.G. Willumsen: *Modelling Transport*, 4th Edition, WILEY, Chichester 2011, s. 1–26, S. Gaca, W. Suchorzewski, M. Tracz: *Inżynieria ruchu drogowego*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2011, s. 132–162.

lizej literatury przedmiotu skłaniają ku przekonaniu o licznych próbach implementacji różnych aspektów ewakuacji na przedmiotowy grunt. Były to m.in. analiza behawioralna ewakuowanych⁵, wielokryterialne modelowanie masowej ewakuacji ludności w skali miasta⁶ i regionu⁷, modelowanie ewakuacji z dzielnic handlowych⁸ oraz w obliczu zagrożeń chemicznych⁹. Można jednak odczuć brak opracowań, w których opisany byłby wpływ samoewakuacji na masową ewakuację ludności właśnie w świetle dorobku inżynierii transportu.

Powyższe rozważania stanowią wprowadzenie do eksploracji wspomnianej problematyki. Autorzy przyjęli za cel uzyskanie odpowiedzi na następujące pytania:

1. *W jaki sposób samoewakuacja może wpływać na przebieg masowej ewakuacji ludności?*
2. *Jakie parametry ruchu drogowego są kluczowe w optyce masowej ewakuacji ludności?*
3. *W jaki sposób skala samoewakuacji determinuje wspomniane parametry?*

W artykule przedstawiono wybrane wyniki symulacji komputerowych przeprowadzonych w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie w ramach statutowej pracy naukowo-badawczej nr S/E-422/5/13 pt. *Badanie przestrzeni publicznej – skala i wpływ samoewakuacji ludności na ewakuację masową*. Wykorzystano w nich program do modelowania ruchu w skali mikro VISSIM®.

Podjęty wysiłek badawczy skutkowałam rzuceniem światła na wieloaspektowość masowej ewakuacji ludności, szczególnie modelowania potoków pojazdów opuszczających strefę zagrożenia.

1. Samoewakuacja a zorganizowane aspekty masowej ewakuacji ludności

Termin *masowa ewakuacja ludności* nie został zdefiniowany w polskich aktach prawnych. Atrybut masowości funkcjonuje co prawda w dokumentach normatywnych Szefa Obrony Cywilnej Kraju¹⁰, jednakże o charakterze omawianej ewakuacji stanowi kontekst, w jakim jest ona opisywana, nie zaś bezpośrednio, definicyjne odniesienia.

⁵ A. Pel, M. Bliemer, S. Hoogendoorn: Modelling Traveller Behavior under Emergency Evacuation Conditions, *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 2011, nr 11(2), s. 166–193.

⁶ Luliang TANG, Xue YANG, Fangzhen HUANG, Hong Xu, Qingquan LI: A New Models for Emergency Evacuation under the Disaster Condition, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 2012, Vol. I-2, s. 195–202.

⁷ M. Naser, Sh.C. Birst: Mesoscopic Evacuation Modeling for Small- to Medium-Sized Metropolitan Areas, Advanced Traffic Analysis Center Upper Great Plains Transportation Institute North Dakota State University 2010.

⁸ M.D. Rossetti, Quingbiao Ni, T. Sattar: Simulating Large-Scale Evacuation Scenarios in Commercial Shopping Districts – Methodologies and Case Study, Raport z projektu Grant Award Number 2008-ST-061-TS003.

⁹ E. Kaiser, S. Parr, P. Scarlatos: Traffic Simulation Modeling for an Urban Chemical Disaster: Emergency Evacuation Development and Case Study, LACCEI'2010, Peru, materiały pokonferencyjne.

¹⁰ Instrukcja Szefa Obrony Cywilnej Kraju w sprawie ewakuacji ludności, zwierząt i mienia na wypadek masowego zagrożenia, Warszawa 2008.

Opierając się na wynikach analizy literatury przedmiotu, biorąc przy tym pod uwagę różnorodne ujęcia masowej ewakuacji ludności prezentowane przez teoretyków i praktyków w Polsce i na świecie, można ją nazwać przemieszczanie (się) ludności z miejsc, gdzie występują zagrożenia, do miejsc bardziej bezpiecznych, wymagające uruchamiania ewakuacyjnego mechanizmu ochrony ludności. Na mechanizm ten składają się kolejno:

- 1) przejęcie odpowiedzialności za ewakuację przez właściwe organy administracji państwowej i podjęcie decyzji o ewakuacji,
- 2) alarmowanie ludności,
- 3) przemieszczanie (się) ludności po zewnętrznych, w kontekście obiektów budowlanych, drogach ewakuacji,
- 4) rozlokowanie ludności w punktach przyjęcia,
- 5) powrót ludności do domów¹¹.

Wprowadzono więc jakościowe kryterium podziału ewakuacji na tę masową (w przypadku spełnienia powyższych wymagań) bądź interwencyjną (w przypadku niespełnienia)¹².

Natomiast samoeвакуacja jest uważana za formę ochrony ludności przed zagrożeniami, a zarazem rodzaj ewakuacji w podziale uwzględniającym specyfikę zarządzania nią¹³. Może przebiegać w sposób zorganizowany (w drodze ogłoszenia przez podmioty zarządzania kryzysowego lub kierującego działaniami ratowniczymi konieczności samodzielnego przemieszczenia się do miejsc bardziej bezpiecznych niż strefa aktualnego przebywania) lub spontanicznie (jako behawioralna odpowiedź na krytycznie niskie poczucie bezpieczeństwa).

W tym miejscu pojawia się pytanie o potencjalny wpływ samoeвакуacji na masową ewakuację ludności. Najbardziej istotnych determinantów omawianego wpływu należy w pierwszej kolejności doszukiwać się w aspektach¹⁴:

- wpływu zagrożeń wtórnych (powodowanych ewakuacją) na pomoc medyczną podczas przemieszczania i rozlokowania osób ewakuowanych,
- wpływu zagrożeń wtórnych na funkcjonowanie zespołu załadowczego na środki transportu podczas rozlokowania osób ewakuowanych,
- wpływu zagrożeń wtórnych na funkcjonowanie zespołu rozdzielczego podczas przemieszczania i rozlokowania osób ewakuowanych.

Analiza powyższego zestawienia pozwala uzmysłowić, że we wzajemnej relacji *samoeвакуacja – masowa ewakuacja ludności* niezwykle istotny jest wpływ zagrożeń wtórnych, a także problematyka procesu przemieszczania (się) ludności.

¹¹ Szerzej, P. Gromek: Organizacja masowej ewakuacji ludności w Polsce, rozprawa doktorska, Akademia Obrony Narodowej w Warszawie, 2014, s. 20–33.

¹² P. Gromek: Organizacja..., s. 33.

¹³ M. Simonova, P. Polednak: Rescue and evacuation operations in the intervention, [w:] Emergency evacuation of people from buildings, red. P. Kępką, W. Jaskółowski, Wydawnictwo BEL Studio Sp. z o.o., Warszawa 2011, s. 328.

¹⁴ Szerzej, P. Gromek, W. Gawroński, R. Wróbel: Wpływ samoeвакуacji na masową ewakuację ludności w Polsce – wprowadzenie do problematyki, *Zeszyty Naukowe SGSP* 2014, nr 51 (3), s. 81.

Truizmem jest więc stwierdzenie, że samoewakuacja może generować zagrożenia wtórne – zagrożenia, wpływające na uwarunkowania transportu osób ewakuowanych (samoewakuujących się). Oczywistym rezultatem materializacji tego wpływu zdaje się być liczba pojazdów poruszających się w sieci dróg strefy ewakuacji. Im większa skala samoewakuacji, tym większej liczby pojazdów w jednostce czasu należy się spodziewać. Uwidacznia się w ten sposób najbardziej oczywisty mechanizm wpływu samoewakuacji na masową ewakuację ludności. Mechanizm ten jest związany z natężeniem ruchu na drogach ewakuacji i wszelkimi, przedmiotowymi implikacjami.

2. Parametryzacja masowej ewakuacji ludności w świetle uwarunkowań ruchu drogowego z wykorzystaniem VISSIM

W tym miejscu pojawia się pytanie o to, przez jakie wielkości scharakteryzować ruch drogowy w obliczu masowej ewakuacji ludności. W toku przedmiotowej analizy, autorzy wykorzystali narzędzie opracowane przez firmę PTV Group® – VISSIM®.

VISSIM jest symulatorem ruchu miejskiego. To mikroskopowy, o stałym kroku czasowym i oparty na zdarzeniach, model symulacyjny dedykowany modelowaniu ruchu miejskiego i funkcjonowania komunikacji zbiorowej (w tym potoków pieszych). Umożliwia dokonywanie analiz warunków ruchu indywidualnego (samochody osobowe, osoby piesze) oraz komunikacji zbiorowej (pojazdy komunikacji zbiorowej).

W procesie symulacji bierze się pod uwagę m.in.:

- konfigurację pasów ruchu (strukturę sieci drogowej),
- strukturę rodzajową ruchu (rodzaje uczestników ruchu i relacje pierwszeństwa ruchu, jakie zachodzą między nimi),
- wpływ sygnalizacji świetlnej,
- reguły pierwszeństwa ruchu,
- układ pożądaných kierunków ruchu i przypisane tym kierunkom poszczególne rodzaje pojazdów (w oparciu o macierz ‘źródło-cel’),
- strefy ograniczonej prędkości ruchu,
- wielopoziomowość tras w sieci ruchu.

Cechą charakterystyczną tego narzędzia inżynierskiego jest sparametryzowana i wykorzystywana w symulacjach tzw. *logika jazdy za liderem* (Wiedemann, 1974)¹⁵. W znacznym uproszczeniu polega ona na tym, że kierowca pojazdu poruszającego się z większą prędkością zaczyna hamować w sytuacji osiągnięcia swojego indywidualnego progu percepcji pojazdu, który porusza się przed nim wolniej. Z uwagi na brak możliwości dokładnego określenia prędkości pojazdu jadącego wolniej, kierowca pojazdu za nim hamującego zmniejsza swoją prę-

¹⁵ Szerzej, R. Wiedemann: Simulation des Strassenverkehrsflusses, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Karlsruhe 1974.

kość tak długo, aż osiągnie prędkość niższą niż pojazd jadący przed nim, po czym przyspiesza do osiągnięcia kolejnego progu percepcji. Idea ta została rozwinięta w latach kolejnych o teoretyczne podstawy zachowań kierowców na drogach miejskich wielopasowym (Wiedemann 1991)¹⁶ oraz na autostradach (Wiedemann 1999)¹⁷. Wspomniane modele teoretyczne zostały zaimplementowane do symulatora VISSIM (istnieje możliwość ich wyłączenia).

VISSIM umożliwia symulacje ruchu drogowego poprzez modelowanie statyczne lub dynamiczne. W pierwszym przypadku użytkownik określa szczegółowo rozkłady ruchu (punkty wjazdu pojazdów do sieci, kierunki ich jazdy, reguły ruchu, prędkości itp.). Natomiast modelowanie dynamiczne opiera się na macierzy źródło-cel, opisującej jedynie początkowe założenia symulacji, tj. liczbę pojazdów przemieszczających się pomiędzy poszczególnymi strefami. Program sam oblicza optymalne rozkłady ruchu, kolokwialnie ujmując, pozostawiając kierowcom dowolność w wyborze trasy w oparciu o wcześniejsze doświadczenia drogowe (korki itp.).

Omawiany program nie został stworzony do modelowania ruchu podczas masowej ewakuacji ludności. Niemniej jednak funkcjonalności dynamicznego modelowania ruchu pozwalają dokonać symulacji właściwych scenariuszy, dostarczając istotnych informacji dotyczących wartości takich parametrów, jak m.in.:

- prędkości rzeczywiste poszczególnych rodzajów pojazdów,
- sumaryczne i średnie (w przeliczeniu na pojedynczy pojazd) czasy przebywania grup poszczególnych rodzajów pojazdów w sieci drogowej strefy ewakuacji,
- sumaryczne i średnie (w przeliczeniu na pojedynczy pojazd) dystanse pokonywane przez grupy poszczególnych rodzajów pojazdów w ramach sieci drogowej strefy ewakuacji,
- liczby zatrzymań (przystanków) pojazdów przed zdefiniowanymi punktami pomiarowymi (tzw. *licznikami kolejek*),
- liczby pojazdów konstytuujących kolejki przed zdefiniowanymi punktami pomiarowymi (tzw. *licznikami kolejek*),
- długości kolejek przed zdefiniowanymi punktami pomiarowymi (tzw. *licznikami kolejek*).

W oparciu o wyniki analizy intuicyjnej założono, że wymienione powyżej parametry są kluczowe z punktu widzenia zarządzania masową ewakuacją ludności (planowania, organizowania, przewodzenia, kontrolowania), w tym samoewakuacją. Charakteryzują bowiem przepustowość dróg ewakuacji w strefie ewakuacji. Ich wartości mogą pełnić rolę przesłanek w procesach projektowania i realizacji działań ukierunkowanych na optymalizację właściwego ruchu drogowego. W ni-

¹⁶ Szerzej, R. Wiedemann: Modelling of RTI-Elements on multi-lane roads, [w:] *Advanced Telematics in Road Transport*, Commission of the European Community, DG XIII, Brussels, 1991.

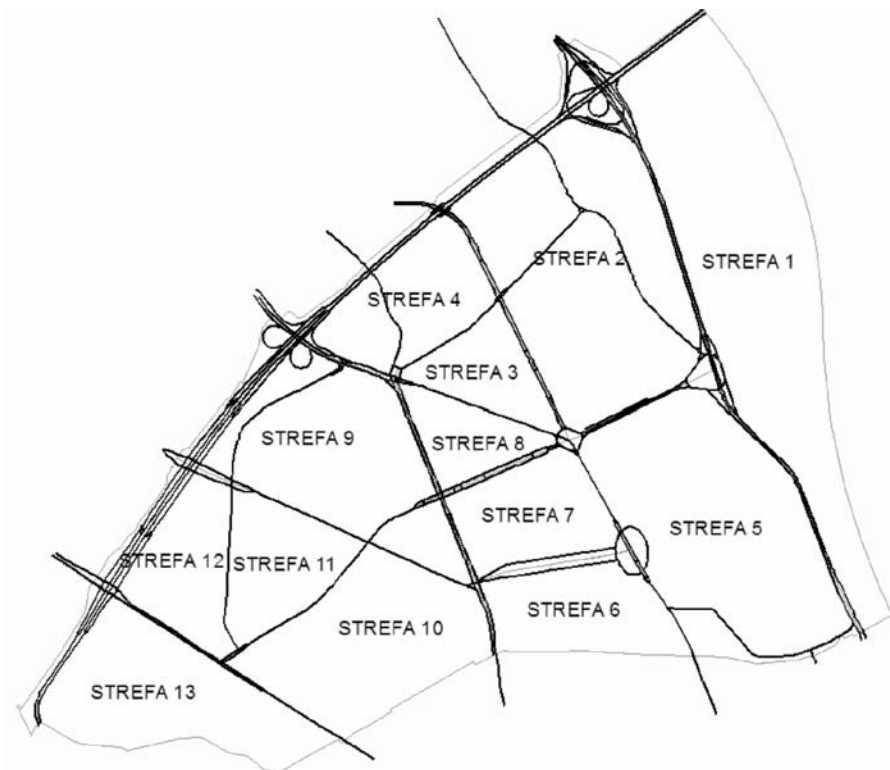
¹⁷ Szerzej, VISSIM 5.30. Podręcznik użytkownika, PTV Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe 2010, s. 135–136, 147–149.

niejszym artykule skupiono się na parametrach właściwych prędkościom średnim, dystansom i czasom przebywania pojazdów w sieci drogowej strefy ewakuacji.

3. Samoewakuacja a wartości parametrów ruchu drogowego podczas masowej ewakuacji ludności na przykładzie Żoliborza

Na potrzeby określenia wpływu samoewakuacji na wartości parametrów ruchu drogowego podczas masowej ewakuacji ludności posłużono się przykładem warszawskiej dzielnicy Żoliborz. Wybór został dokonany z uwagi na zróżnicowanie sieci transportowej (obecność dróg krajowych, wojewódzkich, powiatowych i gminnych), a także relatywnie wysoki stopień znajomości dzielnicy (ponad 10-letnie ratownicze doświadczenie zawodowe współautora niniejszego opracowania).

Na rys. 1 i 2 przedstawiono podział Żoliborza na podstrefy ewakuacji na tle właściwej im infrastruktury kolejno drogowej i budowlanej, determinujących ten podział. Z uwagi na czytelność, na rysunku 1 naniesiono wyłącznie drogi krajowe, wojewódzkie i powiatowe. Sieć drogowa symulatora uwzględniała również ich gminne i wewnętrzne odpowiedniki.



Rys. 1. Podział Żoliborza na podstrefy ewakuacji na tle infrastruktury drogowej w podziale rodzajowym

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2. Podział Żoliborza na podstrefy ewakuacji na tle infrastruktury budowlanej
Źródło: opracowanie własne.

Dzielnicę Żoliborz charakteryzuje gęstości zaludnienia 5722 osób/km² przy liczbie 48 469 mieszkańców¹⁸. W oparciu o infrastrukturę drogową i budowlaną została podzielona na 13 podstref ewakuacji. Z założenia obszar dzielnicy jest strefą zagrożenia (strefą ewakuacji), pozostałe tereny stanowią strefę bezpieczną. Założono więc promienisty układ kierunków ewakuacji.

Biorąc pod uwagę deklaratywne wartości skali samoewakuacji, uzyskane w toku wcześniejszych badań na grupie reprezentatywnej w skali kraju¹⁹, przyjęto trzy właściwe wartości reprezentatywne: 20%, 35% i 50%. Określają one procent populacji deklarującej podjęcie się samoewakuacji w obliczu zagrożenia masowego w Polsce.

¹⁸ Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2014 r. Główny Urząd Statystyczny 2014, s. 114.

¹⁹ Szerzej, P. Gromek: Aspekt społeczny analizy ryzyka ewakuacji ludności w obliczu klęski żywiołowej w Polsce, *Prace i Studia Geograficzne* 2014, t. 53, s. 41–51.

Implementacja liczby mieszkańców i powyższych wartości skali samoewakuacji do środowiska GIS (wykorzystanie programu ArcGIS® firmy ESRI) skutkowało określeniem liczby mieszkańców dla każdej z podstref ewakuacji. Wartości te zostały przeliczone na liczby pojazdów w ramach dwóch, niezależnych od dostaw zewnętrznej (z miejskiej sieci elektroenergetycznej) energii elektrycznej, rodzajów pojazdów: samochodów osobowych (prędkość nominalna: 50 km/h) i pojazdów komunikacji zbiorowej (autobusów, prędkość nominalna: 30 km/h). Prędkości nominalne dobrano z uwzględnieniem warunków ruchu, jakie uzyskano na etapie symulacji wstępnych. Założono, że samochody osobowe są dedykowane osobom samoewakuującym się, zaś pojazdy komunikacji zbiorowej osobom nie podejmującym się samoewakuacji. Przyjęto ilościową obsadę jednego samochodu osobowego na maksymalnie 6 osób²⁰, zaś pojazdu komunikacji zbiorowej na maksymalnie 50 osób²¹.

Określone dane ilościowe posłużyły stworzeniu matryc 'źródło – cel' dla poszczególnych skali samoewakuacji z uwzględnieniem wszystkich podstref ewakuacji. W matrycach tych zostały zdefiniowane liczby pojazdów przemieszczających się ze strefy ewakuacji do strefy bezpiecznej.

Na podstawie zebranych powyżej założeń wykonano 3 serie po 15 symulacji komputerowych każda²². Wykorzystano w tym celu moduł dynamicznego modelowania ruchu w oparciu o matryce 'źródło – cel' dla wszystkich wartości reprezentatywnych skali samoewakuacji (20%, 35% i 50%).

Na rys. 3 przedstawiono wykresy średnich prędkości wszystkich pojazdów (bez podziału rodzajowego) znajdujących się w sieci drogowej strefy ewakuacji.

Wzrost skali samoewakuacji skutkowało wzrostem średnich prędkości pojazdów przemieszczających się w sieci dróg ewakuacji. Uzasadnienia tego stanu należy się doszukiwać w konieczności poszukiwania alternatywnych dróg w optyce większego obciążenia ruchem. Wyjątek od opisanej zależności stanowi pierwsza symulacja scenariusza 50% skali samoewakuacji. Wyjaśnienia należy się doszukiwać w kumulacyjnym sposobie nabywania doświadczeń przez kierowców VISSIM (kierowcy ci niejako uczą się w oparciu o poprzednie symulacje danego scenariusza).

Na kolejnych dwóch rysunkach pokazano rozkłady dystansów pokonywanych przez statystyczny pojazd w sieci oraz rozkłady czasów przebywania tegoż pojazdu w sieci. W każdym przypadku wzięto pod uwagę wszystkie trzy reprezentatywne wartości skali samoewakuacji.

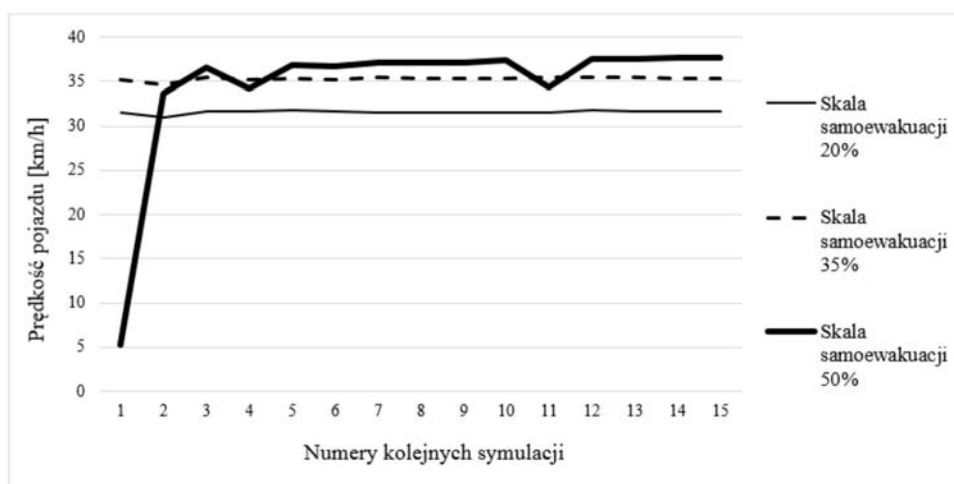
Analizując rysunki 4 i 5 można dojść do przekonania, że samoewakuacja wpływa na przedstawione graficznie parametry ruchu drogowego w sposób wprostproporcjonalny. Otóż wraz ze wzrostem wartości skali samoewakuacji,

²⁰ A. Tagliaferri, B. Williams, Coastal Mass Evacuation. Detailed Modeling and Analysis of the North Carolina Interstate 40 Lane Reversal Plan, VDM Verlag Dr. Muller, Saarbrücken 2008, s. 35.

²¹ W oparciu o wyniki analizy intuicyjnej traktującej o zaleceniach zawartych w Instrukcji Szefa Obrony Cywilnej Kraju...

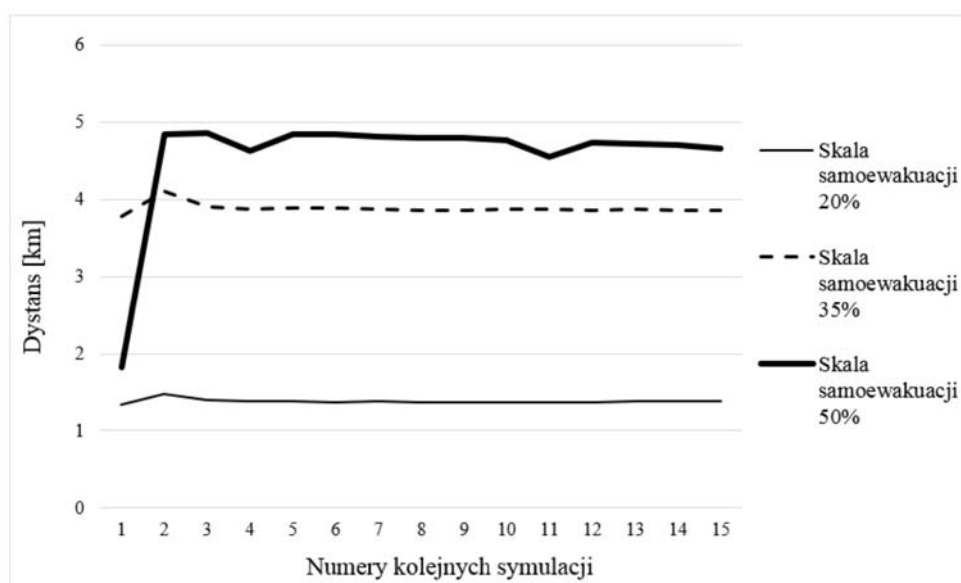
²² A. Tagliaferri, B. Williams, dz. cyt., s. 45.

wzrastają również przedmiotowe wartości. Wynika z tego potencjalnie negatywny wpływ samoewakuacji na sprawność całego procesu masowej ewakuacji ludności. Dystans przebyty przez pojazd i czas przebywania pojazdu w sieci mogą być bowiem traktowane jako wyznaczniki tej sprawności.



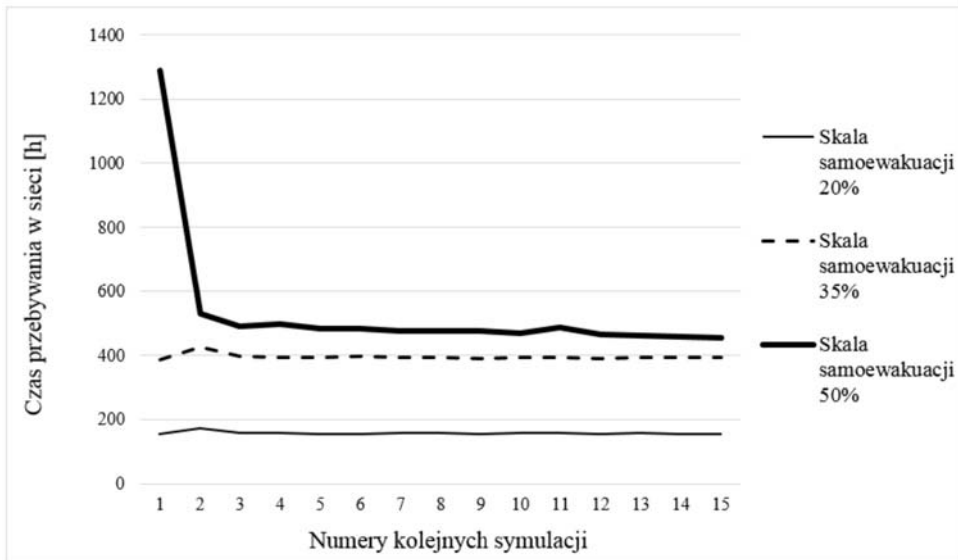
Rys. 3. Prędkości średnie ogółu pojazdów

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4. Rozkład dystansów przebytych przez statystyczny pojazd w sieci

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5. Rozkład wartości czasów przebywania statystycznego pojazdu w sieci

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie

Jednym z aspektów problematyki masowej ewakuacji ludności jest modelowanie ruchu drogowego. Wykorzystanie dorobku inżynierii transportu pozwala pozyskać informacje kluczowe w procesie zarządzania bezpieczeństwem osób ewakuowanych i ewakuujących (planowania, organizowania, przewodzenia, kontrolowania).

Najbardziej oczywisty mechanizm wpływu samoewakuacji na masową ewakuację ludności jest związany z natężeniem ruchu na drogach ewakuacji i wszelkimi, przedmiotowymi implikacjami. Należy spodziewać się determinowania przez skalę samoewakuacji wartości takich parametrów, jak prędkości rzeczywiste poszczególnych rodzajów pojazdów, sumaryczne i średnie (w przeliczeniu na pojedynczy pojazd) czasy przebywania grup poszczególnych rodzajów pojazdów w sieci drogowej strefy ewakuacji, sumaryczne i średnie (w przeliczeniu na pojedynczy pojazd) dystanse pokonywane przez grupy poszczególnych rodzajów pojazdów w ramach sieci drogowej strefy ewakuacji, liczby zatrzymań (przystanków) pojazdów przed zdefiniowanymi punktami pomiarowymi (tzw. *licznikami kolejek*), liczby pojazdów konstytuujących kolejki przed zdefiniowanymi punktami pomiarowymi (tzw. *licznikami kolejek*), a także długości kolejek przed zdefiniowanymi punktami pomiarowymi (tzw. *licznikami kolejek*).

W badaniu przeprowadzono 45 symulacji komputerowych z wykorzystaniem programu symulacji ruchu drogowego w skali mikro VISSIM. Na potrzeby niniejszego artykułu uzyskano dane dotyczące średniej prędkości pojazdów w sieci,

rozkładu dystansów pokonywanych i rozkładu właściwych czasów przebywania pojazdów w sieci. Ogólnie, dowiedziono, że samoewakuacja może negatywnie wpływać na warunki ruchu drogowego podczas masowej ewakuacji ludności. Ze wzrostem skali samoewakuacji wzrastały bowiem pokonywane dystanse i czasy przebywania pojazdów w sieci drogowej strefy ewakuacji.

Zdaniem autorów zasadne jest prowadzenie dalszych badań naukowych w problematyce masowej ewakuacji ludności – badań ukierunkowanych na analizy: elementarną uwarunkowań ruchu oraz kolejnych, ewakuacyjnych możliwości symulacyjnych VISSIM.

Literatura

- [1] de Dios Ortuzar J., Willumsen L.G.: *Modelling Transport*, 4th Edition, WILEY, Chichester 2011.
- [2] edition.cnn.com.
- [3] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: *Inżynieria ruchu drogowego*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2011.
- [4] Gromek P.: Aspekt społeczny analizy ryzyka ewakuacji ludności w obliczu klęski żywiołowej w Polsce, *Prace i Studia Geograficzne* 2014, t. 53.
- [5] Gromek P., Gawroński W., Wróbel R.: Wpływ samoewakuacji na masową ewakuację ludności w Polsce – wprowadzenie do problematyki, *Zeszyty Naukowe SCGP* 2014, nr 51 (3).
- [6] Gromek P.: *Organizacja masowej ewakuacji ludności w Polsce*, rozprawa doktorska, Akademia Obrony Narodowej w Warszawie, 2014.
- [7] *Instrukcja Szefa Obrony Cywilnej Kraju w sprawie ewakuacji ludności, zwierząt i mienia na wypadek masowego zagrożenia*, Warszawa 2008.
- [8] Kaiser E., Parr S., Scarlatos P.: *Traffic Simulation Modeling for an Urban Chemical Disaster: Emergency Evacuation Development and Case Study*, LACCEI'2010, Peru, materiały pokonferencyjne.
- [9] Luliang TANG, Xue YANG, Fangzhen HUANG, Hong Xu, Qingquan LI: A New Models for Emergency Evacuation under the Disaster Condition, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 2012, Vol. I-2.
- [10] Naser M., Birst Sh.C.: *Mesoscopic Evacuation Modeling for Small- to Medium-Sized Metropolitan Areas*, Advanced Traffic Analysis Center Upper Great Plains Transportation Institute North Dakota State University 2010.
- [11] Pel A., Bliemer M., Hoogendoorn S.: *Modelling Traveller Behavior under Emergency Evacuation Conditions*, *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 2011, nr 11(2).
- [12] *Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2014 r.* Główny Urząd Statystyczny 2014.
- [13] Rossetti M.D., Quingbiao Ni, Sattar T.: *Simulating Large-Scale Evacuation Scenarios in Commercial Shopping Districts – Methodologies and Case Study*, Raport z projektu Grant Award Number 2008-ST-061-TS003.

- [14] Simonova M., Polednak P.: Rescue and evacuation operations in the intervention, [w:] Emergency evacuation of people from buildings, red. P. Kępka, W. Jaskółowski, Wydawnictwo BEL Studio Sp. z o.o., Warszawa 2011.
- [15] SLG 101: Guide for All-Hazard Emergency Operations Planning, FEMA, 1996.
- [16] Tagliaferri A., Williams B.: Coastal Mass Evacuation. Detailed Modeling and Analysis of the North Carolina Interstate 40 Lane Reversal Plan, VDM Verlag Dr. Muller, Saarbrücken 2008.
- [17] Tofilo P., Cisek M., Łącki K.: Selection of Evacuation Scenarios for Evacuation Simulations, *Zeszyty Naukowe SGSP* 2012, nr 44, s. 99–109.
- [18] VISSIM 5.30. Podręcznik użytkownika, PTV Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe 2010.
- [19] Wiedemann R.: Modelling of RTI-Elements on multi-lane roads [w:] Advanced Telematics in Road Transport, Commission of the European Community, DG XIII, Brussels, 1991.
- [20] Wiedemann R.: Simulation des Strassenverkehrsflusses, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Karlsruhe 1974.
- [21] www.bbc.co.uk.
- [22] www.ready.gov.