

BOROWIAK Jacek<sup>1</sup>  
 JĘDRA Ireneusz<sup>1</sup>  
 WĄSOWICZ Alicja<sup>1</sup>

## Logistyka transportu w sytuacjach kryzysowych

### WSTĘP

Życie człowieka jest coraz bardziej zależne od sprawnie funkcjonującego systemu przemieszczania dóbr, zasobów jak też jego samego. Zależność ta może znacznie wzrosnąć w chwili powstania zakłóceń w działaniu istniejącego systemu transportowego, które mogą być bezpośrednią przyczyną zagrożenia życia ludzi i zwierząt oraz powstania strat materialnych.

Coraz częstsze sytuacje kryzysowe, począwszy od wynikających z działania natury po wywołane przez umyślne bądź nie działania ludzi, zmuszają państwo do zwrócenia uwagi na konieczność należytego przygotowania się do przeciwdziałania ich skutkom.

### 1. PRZYGOTOWANIE DO SYTUACJI KRYZYSOWEJ

Za sytuację kryzysową uznaje się zdarzenie mające charakter losowy, na skutek którego powstaje zagrożenie dla życia oraz zdrowia ludzi i zwierząt, oraz niebezpieczeństwo zaistnienia strat materialnych osób fizycznych, prawnych i państwa.

Właściwe przygotowanie do sytuacji kryzysowej powinno uwzględniać konieczność:

- prowadzenia działań zapobiegawczych powstaniu i rozprzestrzenianiu się kryzysu (np. budowa wałów przeciwpowodziowych, wzmożona ochrona obiektów narażonych na działania terrorystów itp.),
- przygotowania ludności na wypadek ewakuacji (szkolenia, ćwiczenia),
- utrzymywania i szkolenia służb ratowniczych (straż pożarna, pogotowie ratunkowe itp.),
- zabezpieczenia transportu tj. odpowiedniej liczby niezbędnego sprzętu transportowego i ratowniczego,
- zabezpieczenia przed zatruciem ujęć wody,
- zabezpieczenia przed użyciem niebezpiecznych środków chemicznych,
- przygotowanie służb epidemiologicznych do działań,
- organizacji pomocy dla ofiar,
- organizacji segregacji pokrzywdzonych, transportu i kwarantanny chorych,
- zabezpieczenia bazy szpitalnej, zapasów antybiotyków, szczepionek, antytoksyn.

Dla potrzeb logistyki działań kryzysowych powinno się przewidywać rodzaj, czas i zasięg sytuacji kryzysowych. Na podstawie ciągłych obserwacji prowadzonych przez ośrodki badań meteorologicznych i geologicznych, wiele z nich da się przewidzieć, zwłaszcza te powodowane przez naturę. Większość prognoz oparta jest na doświadczeniach z sytuacji, z którymi mieliśmy do czynienia w przeszłości.

Oczywiście nie wszystko można przewidzieć. Zdarzają się przypadki katastrof (np. atak terrorystyczny na WTC w Nowym Jorku) i stąd wynikłych kryzysów, których skutków nikt nie jest sobie w stanie wyobrazić. Jednak dobre przygotowanie może w znacznym stopniu zmniejszyć straty ludzkie i materialne.

Podstawą do walki z kryzysem powinna być lista możliwych zagrożeń (tabela 1) wraz z instrukcjami koniecznych do przeprowadzenia działań na wypadek wystąpienia danej sytuacji.

<sup>1</sup> Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn

Tab. 1. Podział sytuacji kryzysowych z uwagi na źródła powstania

Naturalne	Wywołane przez człowieka
<ul style="list-style-type: none"> <li>- pożary budynków, lasów i upraw</li> <li>- powodzie</li> <li>- opady śniegu</li> <li>- porywiste wiatry</li> <li>- trzęsienia ziemi</li> <li>- katastrofy budowlane (zawalenia budynków, mostów, tuneli)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pożary budynków, lasów i upraw</li> <li>- awarie techniczne i budowlane (przerwy w dostawie energii, przerwy w dostawie wody, błędy konstrukcji - zawalenia budynków, mostów, tuneli)</li> <li>- skażenie środowiska: chemiczne, radiologiczne</li> <li>- katastrofy komunikacyjne: samochodowe, kolejowe, lotnicze, morskie</li> <li>- niewypały i niewybuchy</li> <li>- ataki terrorystyczne</li> </ul>

Sytuacje kryzysowe wymagają obsługi logistycznej. Taka obsługa to działania transportowe, które mają zapewnić przemieszczenie ludzi, zwierząt i dóbr z miejsc zagrożonych w miejsca bezpieczne oraz przepływ niezbędnych ładunków dla przeciwdziałania zagrożeniu w celu minimalizacji strat z niego wynikłych.

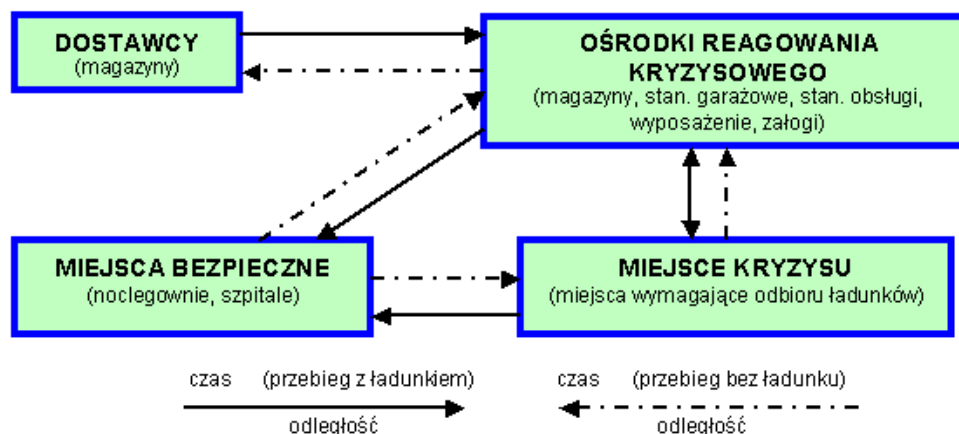
Transport ładunków jest konieczny:

- w trakcie trwania sytuacji kryzysowej – działania w rejonie bezpośredniego zagrożenia oraz w rejonach zagrożonych kryzysem (ewakuacja z zagrożonych terenów przed spodziewaną falą powodziową, rozprzestrzeniającym się pożarem itp.),
- po znielowaniu bezpośredniego zagrożenia (usunięcie skutków powodzi, pożaru, powrotny transport ludzi, zwierząt i dóbr).

Kierowaniem obsługą logistyczną w sytuacjach zagrożenia powinny zajmować się ośrodki reagowania kryzysowego, będące organizacjami, posiadającymi odpowiednie wyposażenie (środki transportu, sprzęt ratowniczy, magazyny, zapasy) oraz kadrę do świadczenia usług w wypadkach wystąpienia sytuacji kryzysowej. Może to być specjalnie do tego powołana organizacja lub połączenie organizacji istniejących np.: punkt magazynowy, węzeł transportowy, jednostka Państwowej Straży Pożarnej, PKS, jednostka Pogotowia Ratunkowego, jednostka wojskowa, GOPR itp.

Sytuacje zagrożenia wymuszają przepływ ładunków - rysunek 1:

- od dostawców do ośrodków reagowania kryzysowego – zaopatrzenie,
- z ośrodków reagowania kryzysowego na miejsce wystąpienia zagrożenia,
- z miejsca wystąpienia zagrożenia do miejsc bezpiecznych (np. miejsca wstępnej ewakuacji, szpitale, zastępcze miejsca noclegowe itp.),
- z ośrodków reagowania kryzysowego do miejsc bezpiecznych (zabezpieczenie bytu ewakuowanej ludności i zwierząt, zabezpieczenie dóbr).



Rys. 1. Schemat przepływu ładunków w trakcie trwania sytuacji kryzysowej

Gdy zagrożenie wystąpi, konieczne jest transportowanie ładunków w jego obszar jak i z miejsca jego wystąpienia – tabela 2.

**Tab. 2.** Zestawienie najważniejszych ładunków transportowanych w czasie sytuacji kryzysowej

Ładunki transportowane na miejsce wystąpienia zagrożenia	Ładunki transportowane z miejsca zagrożenia
<ul style="list-style-type: none"> <li>– sprzęt ratowniczy: pożarniczy, medyczny, specjalny (wojskowy – mosty pontonowe, łodzie itp.),</li> <li>– ratownicy (obsługa sprzętu) – ludzie, psy,</li> <li>– materiały eksploatacyjne dla sprzętu ratowniczego: paliwo, części itp.,</li> <li>– materiały ratownicze: woda, piach itp.,</li> <li>– środki medyczne,</li> <li>– artykuły sanitarne,</li> <li>– żywność, woda pitna,</li> <li>– odzież, koce itp.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ludzie,</li> <li>– zwierzęta,</li> <li>– wartościowy dobytek,</li> <li>– materiały łatwopalne i chemiczne,</li> <li>– sprzęt ratowniczy: pożarniczy, medyczny, specjalny,</li> <li>– ratownicy (obsługa sprzętu) – ludzie, psy.</li> </ul>

Logistyka podczas kryzysu winna mobilizować i uruchamiać zasoby i rezerwy do odtworzenia przerwanych połączeń lub tworzenia połączeń zastępczych. Wszystko w celu zapewnienia sprawnego i skutecznego działania siłom likwidującym skutki kryzysu.

Należy przy tym pamiętać o konieczności prowadzenia normalnych, codziennych działań transportowych, niezbędnych do obsługi rejonów niezagrażonych. Stąd mowa o rezerwach, które można interpretować jako rezerwy czasu bądź wyposażenia (liczba zapasowych środków). W normalnym przypadku, gdy zagrożenia nie ma, rezerwy te będą niewykorzystane.

Oprócz przepływu ładunków w niwelowaniu strat i przeciwdziałaniu zagrożeniom niebagatelną rolę odgrywa rzetelna i przekazana w odpowiednim czasie informacja o przebiegu i parametrach sytuacji kryzysowej (wielkość opadów, wysokość fali powodziowej, obszar objęty pożarem, kierunek jego rozprzestrzeniania itp.). Na jej podstawie można przedsięwziąć odpowiednie środki zaradcze (ewakuować ludność, wzmocnić wały przeciwpowodziowe, przeprowadzić miejscową wycinkę drzewostanu by zapobiec rozprzestrzenianiu się pożaru). Konieczna jest współpraca służb reagowania kryzysowego z ośrodkami informacji meteorologicznej i mediami.

Z powyższego wynika, że przygotowanie do przeciwdziałania powstałej sytuacji kryzysowej to problem obejmujący wiele zagadnień związanych z istnieniem organizacji powołanych do walki z kryzysem oraz samej organizacji działań w takiej sytuacji.

Powstaje szereg pytań:

- Ile ośrodków reagowania kryzysowego powinno się znajdować na wybranym terenie?
- Jak rozplanować ich rozmieszczenie w przestrzeni?
- Jakie powinno być ich wyposażenie (zaplecze techniczne)? Ile potrzeba środków transportu i jakich np. pojazdów przeznaczonych do ewakuacji ludzi, zwierząt, dóbr; pojazdów ratowniczych: wozów strażackich itp., innych środków transportu: śmigłowców, łodzi itp.
- Ilu ludzi potrzeba do obsługi?
- Jakie zapasy należy utrzymywać w pogotowiu? - środki medyczne, sanitarne, odzież i koce, namioty i łóżka polowe, żywność; sprzęt ratowniczy: pompy, łopaty, worki, piach, środki gaśnicze itp.; środki eksploatacyjne. Kto i gdzie powinien je utrzymywać?
- Jak sprawnie koordynować i realizować działania logistyczne w sytuacjach zagrożenia? Jak decydować o kolejności obsługi miejsc zagrożonych?
- Jakie kryteria powinny decydować o wyborze środka transportowego użytego w danej sytuacji (samochód czy śmigłowiec)?
- Jak sprawnie informować o zaistnieniu i przebiegu sytuacji kryzysowej?

Jak wcześniej wspomniano sytuacja kryzysowa to zdarzenie losowe, powstające nagle, w sposób nieoczekiwany. Charakteryzuje się również presją czasu. Wymaga podjęcia szybkiego działania w celu ratowania ludzi, zwierząt, dobytku i likwidacji zagrożenia.

Dlatego tak istotna staje się liczba i rodzaj środków transportowych na cele ewakuacji. Ma to bezpośredni wpływ na możliwość dotarcia do często odciętych przez zaistniały kataklizm terenów i przede wszystkim, na czas dojazdu do miejsca zagrożenia. Od tych czynników w znacznej mierze zależy liczba ofiar i rozmiar strat materialnych.

Utrzymywanie na odpowiednim poziomie ilościowym i jakościowym środków transportu, sprzętu oraz kadry obsługowej zapewni sprawny przebieg akcji ratowniczej w sytuacji kryzysowej, gdzie nadrzędnym problemem szybka ewakuacja z miejsc zagrożonych przede wszystkim ludności, ale również zwierząt i wartościowego dobytku.

Powstaje następujące pytanie: jaki poziom rezerw należy utrzymywać aby ewakuację przeprowadzić szybko minimalizując straty ludzkie i materialne, tj. ile środków transportowych każdego rodzaju (samochodów, śmigłowców, łodzi itp.) potrzeba do sprawnej i skutecznej ewakuacji z terenów zagrożonych?

Aby odpowiedzieć na to pytanie konieczne jest opracowanie metody wyznaczenia optymalnej liczby środków transportowych przeznaczonych do celów ewakuacji z terytorium zagrożonego dla kryterium minimalizacji strat.

Czynniki wpływające na liczbę i rodzaj środków transportu koniecznych do ewakuacji:

- położenie i ukształtowanie terenu obsługiwanego regionu (np. miejsca zagrożone powodzią - w pobliżu głównych rzek, miejsca zagrożone pożarem - obszary leśne w pobliżu zabudowań),
- wielkość obsługiwanego obszaru,
- zaludnienie obsługiwanego regionu,
- liczba funkcjonujących jednostek, które mogą wspierać działania logistyczne (ratunkowe) (np. jednostki PSP, PR, WP),
- koszty utrzymania (podatki od nieruchomości, ubezpieczenia pojazdów, utrzymanie pojazdów i sprzętu, utrzymanie niezbędnych zapasów).

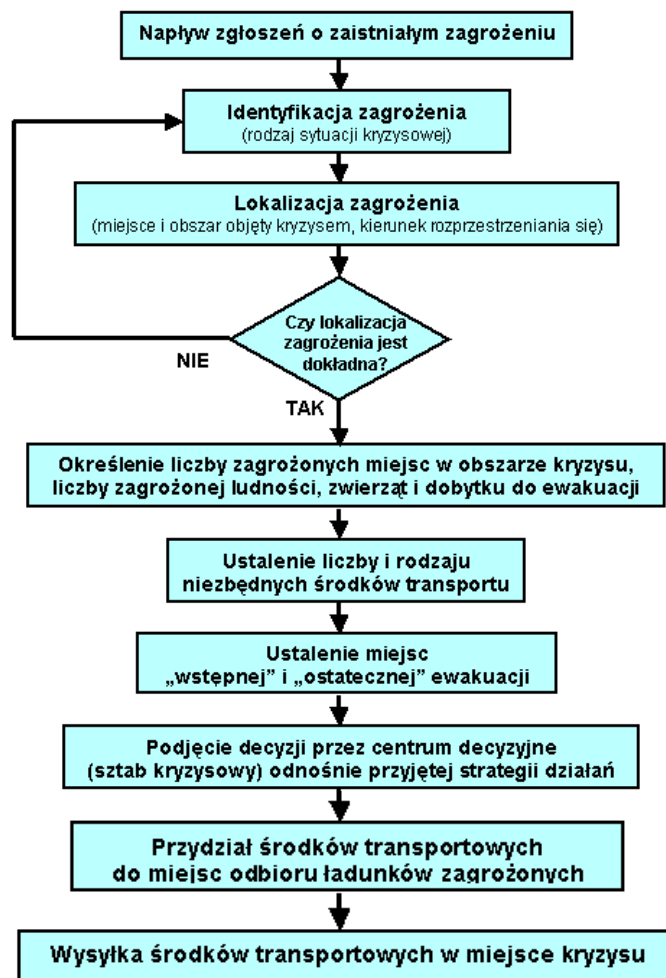
Liczba środków transportu powinna być dostosowana do potrzeb. Ich wielkość może być wyznaczana jedynie na podstawie przeszłych zdarzeń, w poprzednim okresie i nie sposób przewidzieć z całkowitą pewnością czy wyposażenie stąd wynikające będzie wystarczające w przyszłości tj. w przyszłych sytuacjach. Zdarzają się przecież sytuacje ekstremalne (np. powódź w Polsce w 1997 roku).

Oceny właściwego przygotowania pod kątem liczby środków transportowych, przeznaczonych na działania ewakuacyjne, można by dokonać na podstawie wielkości strat materialnych powstałych w przeszłych kryzysach. Jednak pojawia się tu problem jak ocenić straty ludzkie. Życia ludzkiego żadną miarą nie da się wycenić i z tego punktu widzenia im więcej jest środków transportu tym lepiej. Tym większa jest szansa na skuteczne przeciwdziałanie kryzysowi i stratom materialnym z niego wynikającym. Z drugiej strony im liczba środków transportu utrzymywanych w pogotowiu jest większa, tym większe są nakłady na ich zakup oraz koszty zatrudnienia obsługi i utrzymania.

Przy poszukiwaniu odpowiedzi na postawiony problem, tj. ile środków transportu potrzeba, pomocna może się okazać metoda symulacji.

Symulacja przedsięwzięcia, jakim jest ewakuacja, pozwoli na zrozumienie funkcjonowania systemu działań ewakuacyjnych w sytuacji zagrożenia.

Przyjmując jako wstępne dane np. obszar objęty kryzysem, liczbę miejsc, do których należy dotrzeć z ratunkiem oraz liczbę posiadanych środków transportowych, można prześledzić wiele wariantów realizacji ewakuacji. Na podstawie opracowanych wyników będzie można wybrać wariant optymalny. Metodykę postępowania przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Etapy poprzedzające działania transportowe w sytuacji kryzysowej

## 2. MODELOWANIE ZAISTNIAŁYCH SYTUACJI

Głównym celem funkcjonowania modelu jest jak najszybsze przemieszczenie ładunków (ludzi, zwierząt, dóbr) z miejsc objętych kryzysem do miejsc bezpiecznych w możliwie najkrótszym czasie, przy jednoczesnym minimalizowaniu kosztów i strat. Równie ważnym celem działania modelu jest osiągnięcie wysokiej jakości obsługi miejsc zagrożonych.

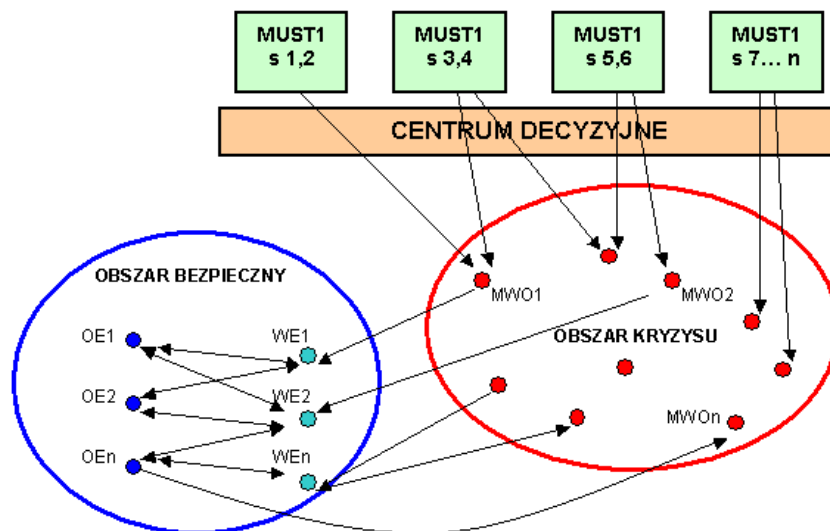
Aby zbudować model systemu ewakuacji, należy określić:

- elementy systemu,
- procesy zachodzące w systemie,
- cechy (parametry) charakteryzujące te procesy.

Wyobraźmy sobie taki model systemu jak przedstawiono na rysunku 3.

Elementami modelu systemu ewakuacji są:

- miejsca utrzymywania środków transportowych w gotowości (MUST),
- środki transportowe (s),
- centrum decyzyjne (koordynacji działań),
- obszar kryzysu,
- miejsca wymagające odbioru ładunków z obszaru zagrożonego (MWO),
- ewakuowane ładunki,
- „wstępne” miejsca ewakuacji (WE),
- „ostateczne” miejsca ewakuacji (OE).



Rys. 3. Model systemu działań ratowniczych

Model może się znajdować w dwóch stanach:

- stan gotowości (bezczynności) – brak kryzysu,
- stan ewakuacji (działania) – w trakcie kryzysu.
- W czasie sytuacji kryzysowej w modelu mogą zachodzić następujące procesy:
- delegowanie danego środka transportowego w miejsce zagrożenia,
- dojazd środków transportowych do miejsca zagrożonego wymagającego odbioru ładunku,
- załadunek środka transportowego w miejscu zagrożenia,
- przewóz ładunku do miejsca wstępnej lub ostatecznej ewakuacji,
- rozładunek w miejscu wstępnej lub ostatecznej ewakuacji,
- przejazd powrotny do kolejnego miejsca zagrożonego, wymagającego odbioru ładunku
- załadunek w miejscu wstępnej ewakuacji i przejazd do miejsca ostatecznej ewakuacji.
- Najważniejsze charakterystyki, opisujące te procesy to:
- czasy trwania poszczególnych czynności,
- liczba (lub masa) przewożonych osób lub ładunków.

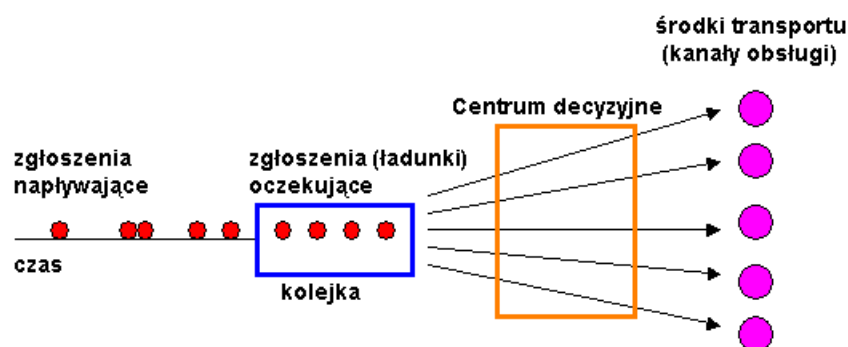
Zadanie wyznaczenia optymalnej liczby środków transportowych byłoby łatwiejsze, gdyby czasy poszczególnych czynności były stałe, jednakowe dla każdego typu środka transportowego i każdego przebiegu.

Przyjmijmy pewne założenia:

- w danym momencie  $t$  jeden środek transportowy może obsługiwać jedno zgłoszenie, tj. jedno miejsce wymagające odbioru ładunku (MWO),
- $A = [ a_i ]$  – liczba środków transportowych,
- $B = [ b_i ]$  – liczba zgłoszeń obsługi miejsca wymagającego odbioru ładunku (MWO),
- zgłoszenia obsługi dopływają do systemu w sposób stochastyczny,
- przyjmuje się, że prawdopodobieństwo przybycia do systemu dwóch lub więcej zgłoszeń w jednym czasie bliskie jest zeru,
- jeżeli w danym momencie  $t$  liczba zgłoszeń  $B$  jest większa od liczby środków transportowych  $A$ , powstaje kolejka zgłoszeń.

W efekcie przyjęcia powyższych założeń, można podjąć się zadania stworzenia modelu i opisu zachowania systemu, wykorzystując teorię masowej obsługi – rysunek 4.

Czasy wykonania czynności (przejazdu, załadunki, rozładunki) są zmiennymi losowymi. Można je określić przy wykorzystaniu zbioru obserwacji (próby) ich realizacji. Można spróbować wyznaczyć ich parametry (wartość oczekiwana, odchylenie standardowe) oraz opisać prawdopodobieństwo ich występowania za pomocą rozkładów teoretycznych lub za pomocą symulacji statystycznej.



Rys. 4. Model systemu masowej obsługi

## ZAKOŃCZENIE

Autor w swojej pracy [1] badał działania służb pożarniczych w sytuacjach zagrożenia. Na podstawie zebranych danych statystycznych o momentach ich wystąpienia, czasów ich obsługi oraz liczbie delegowanych środków transportu (pojazdów gaśniczych i specjalnych) opracował model systemu przeciwdziałania skutkom zagrożeń.

Sprawdzał przy tym hipotezę o rozkładzie Poissona w przypadku opisu procesu przybywania zgłoszeń, a dla procesów opisywanych przez czasy wykonania czynności - hipotezę o rozkładzie wykładniczym. Obie hipotezy zostały odrzucone. Dlatego do celów symulacji tych zjawisk wykorzystał metodę Monte Carlo.

Modelowanie procesów zachodzących w systemie tą metodą pozwoliło na oszacowanie potrzebnej liczby środków transportu do prowadzenia działań ratunkowych przy założonym poziomie bezpieczeństwa, tj. przyjętym prawdopodobieństwie zaistnienia sytuacji braku środków transportu do obsługi.

### Streszczenie

*Sytuacje kryzysowe, mające charakter losowy, są coraz częstsze. Wynikają one zarówno z działania natury oraz ludzi. Dlatego powstaje konieczność należytego przygotowania ludzi i sprzętu do przeciwdziałania ich skutkom. W artykule opisano właściwe przygotowanie służb ratowniczych pod kątem zabezpieczenia niezbędnej liczby środków transportu, które powinny zapewnić wystarczający poziom obsługi logistycznej. Przedstawiono model systemu ratowniczego. Do celów symulacji działań ratowniczych zaproponowano metodę Monte Carlo. Modelowanie procesów zachodzących w systemie ratowniczym tą metodą pozwoliło na oszacowanie potrzebnej liczby środków transportu do prowadzenia działań ratunkowych przy założonym poziomie bezpieczeństwa.*

## Logistics of transport in crisis situations

### Abstract

*Crisis situations are more and more frequent and of random character. They result from an action of the nature and from people activities. Therefore appropriate people and equipment preparation is necessary to counteract their effects. This article describes the proper preparation of emergency services to keep the necessary number of transport means. These vehicles should ensure a sufficient level of logistics service. A model of the rescue system was show. For the purposes of the simulation of rescue operations the Monte Carlo method suggested. Modeling of processes in the system, using this method, allowed to estimate the needed number of vehicles to conduct rescue operations at the established security level.*

## BIBLIOGRAFIA

1. Borowiak J.: *Metoda wyznaczania liczby środków transportu w stanach zagrożenia na przykładzie pojazdów straży pożarnej*. Rozprawa doktorska. Politechnika Radomska. Radom 2005.