

Piotr Zaskórski

piotr.zaskórski@wat.edu.pl

Mieczysław Ogórek

mieczyslaw.ogorek@wat.edu.pl

Wojskowa Akademia Techniczna Wydział Cybernetyki Instytut Organizacji i Zarządzania

Modele symulacyjne w doskonaleniu procesów logistycznych w systemach zarządzania kryzysowego

Simulation models in improving logistic processes in crisis management systems

Współczesne organizacje funkcjonują w środowisku turbulentnym, które powoduje potrzebę wykorzystywania zaawansowanych technologii, a w tym m.in. systemów symulacyjnych, umożliwiających wcześniejszą ocenę sytuacji przy ustalonych ograniczeniach, jak również wariantowanie i wybór optymalnych rozwiązań. Bardzo duże znaczenie nabiera sprawność procesów logistycznych, które stają się główną determinantą ciągłości działania szczególnie w warunkach zaistnienia kryzysu i potrzeby utrzymania odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa w dłuższym horyzoncie czasowym. Modele symulacyjne mogą więc sprzyjać doskonaleniu oraz usuwaniu prognozowanych luk w systemach logistycznych w różnych wymiarach zarządzania kryzysowego.

Słowa kluczowe: , model, symulacja, modele symulacyjne, procesy logistyczne, zarządzanie kryzysowe.

Modern organizations operate in a turbulent environment that causes the need to use advanced technologies, including simulation systems, allowing for early assessment of the situation at set limits, as well as varianting and selection of optimal solutions. Very important is the efficiency of logistics processes, which become the main determinant of business continuity, especially in the conditions of crisis and the need

to maintain an adequate level of security over a longer time horizon. Thus, simulation models can support the improvement and removal of forecast gaps in logistic systems in various dimensions of crisis management

Key words: model, simulation, simulation models, logistics processes, crisis management systems.

1. WPROWADZENIE

W czasach postępującej globalizacji i szybkiego rozwoju systemów tworzących środowisko społeczne, takich jak: systemy gospodarcze, transportowe, energetyczne, informacyjne, czy systemy bezpieczeństwa, znacząco zwiększa się wpływ zakłóceń i zdarzeń kryzysowych na ich sprawne funkcjonowanie. Zróżnicowany kształt zdarzeń kryzysowych pod względem wielkości, czasu, charakteru (naturalny, społeczny) oraz czynników je tworzących, ma istotny wpływ na powodzenie działań wykonywanych przez podmioty prewencji i ratownictwa krajowego w systemie zarządzania kryzysowego. Warunkiem sprawnego działania systemu reagowania kryzysowego w przeciwdziałaniu skutkom zaistniałych zdarzeń,

jest ścisła współpraca wszystkich elementów całego systemu, w każdych warunkach, w danym czasie i przestrzeni, niezależnie od wielkości i dynamiki zaistniałego kryzysu.

Przedsięwzięcia i zadania realizowane w procesie zarządzania kryzysowego wymagają koordynacji i konsolidacji procedur działania wielu podmiotów (administracyjnych, gospodarczych, militarnych) oraz wykorzystania najnowszych osiągnięć technologicznych, aby ich realizacja miała skuteczne odzwierciedlenie w likwidacji zagrożenia na odpowiednim etapie jego rozwoju. Za sytuację kryzysową, można uznać zjawisko mające charakter losowy w wyniku, którego powstaje zagrożenie dla zdrowia, życia ludzi i zwierząt oraz znaczące straty materialne dla ludzi, organizacji, państw, a także społeczności. Zatem dobry system zarządzania kryzysowego, powinien posiadać właściwe przygotowanie zasobów i mieć opracowane procedury działania na wypadek zaistnienia różnego typu zagrożeń. Procedury powinny uwzględnić aspekty m.in. prowadzenia działań zapobiegawczych, przeciwkryzysowych, utrzymywania i doskonalenia działania służb ratowniczych; podnoszenia świadomości i przygotowania ludności na wypadek kryzysu a przede wszystkim utrzymania infrastruktury krytycznej i zabezpieczenia potrzeb logistycznych.

W artykule dokonano syntetycznej analizy potrzeb i możliwości zastosowania modeli symulacyjnych do wspomagania procesów logistycznych w zarządzaniu kryzysowym. Przedstawiono wybrane systemy symulacyjne wykorzystywane w praktyce podczas wspomagania działań logistycznych w sytuacjach kryzysowych. Przybliżono zadania i wyzwania, jakie stoją przed logistyką w sytuacjach zagrożeń w turbulentnym środowisku naturalnym i społecznym. W pracy przedstawiono także wybrane sposoby oceny poprawności modeli symulacyjnych za pomocą narzędzi i technik walidacji oraz weryfikacji stosowanych w praktyce implementacyjnej takich rozwiązań. W artykule wykorzystano przede wszystkim metody analizy systemowej oraz analizy porównawczej i ewaluacyjnej. Koncentrowano się na kwerendzie literatury, jak i wybranych źródłach internetowych.

2. LOGISTYKA W ZARZĄDZANIU KRYZYSOWYM

Logistyka w sytuacjach kryzysowych [12, 121-127] powinna mobilizować i uruchamiać przygotowane zasoby i rezerwy potrzebne do odtworzenia naruszonych lub zniszczonych struktur połączeniowych albo stwarzać połączenia zastępcze/alternatywne, w celu zapewnienia sprawnych działań antykryzysowych. Dodatkowo powinna stworzyć warunki do przeżycia ludności na terenach dotkniętych kryzysem, co może być silnie warunkowane sprawnością procesów transportowych w rejonach dotkniętych zagrożeniem. Wiąże się to często z utrzymaniem i prowadzeniem codziennych działań transportowych „do”, „z”, a także „w”

rejonach dotkniętych zagrożeniem (tabela 1). Stąd istnieje konieczność posiadania i utrzymywania rezerw, które będą wykorzystane tylko w warunkach kryzysu. Poziom rezerw może być skutecznie weryfikowany i kontrolowany z wykorzystaniem modeli symulacyjnych tak, aby w krótkim czasie i bez zakłóceń zabezpieczyć środki niezbędne w danej sytuacji kryzysowej (Tab. 1).

Każda sytuacja kryzysowa wymaga obsługi logistycznej, której specyfika jest uzależniona od wielu zmiennych towarzyszących danemu zagrożeniu. Istotnym dla zapewnienia tej obsługi jest stan utrzymania i jakość infrastruktury logistycznej w postaci sieci dróg, mostów, przepraw, bez których transport może stać się niemożliwy albo długotrwały. Utrzymanie to, wiąże się ze sprawnym zarządzaniem infrastrukturą drogową, która wymaga ciągłego monitorowania przejezdności, kontroli natężenia i bezpieczeństwa na drogach oraz szybkiego usuwania zaistniałych zdarzeń. Takie zdarzenia mogą zaistnieć przykładowo przy transporcie niebezpiecznych substancji, gdzie pojazd przewożący ulegnie wypadkowi i wystąpi zagrożenie. Dlatego procesy logistyczne obejmują także zapewnianie bezpieczeństwa przewożonych towarów oraz przewidywanie i przeciwdziałanie takim zdarzeniom.

Tabela 1. Przykładowe zestawienie potrzeb transportowych.

Do obszaru/ miejsca dotkniętego kryzysem	Z obszaru/ miejsca dotkniętego kryzysem	Rodzaje wykorzystywanego transportu
<ul style="list-style-type: none"> - Sprzęt ratowniczy, - Sprzęt i środki medyczne, - Sprzęt inżynierski, - Materiały zabezpieczające - Prowiant żywnościowy, - Materiały eksploatacyjne dla sprzętu i urządzeń, - Agregaty prądowe, - Inne środki potrzebne do zabezpieczenia rejonu kryzysu. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ludzie, - Zwierzęta, - Ratownicy (rotacja), - Ewakuowane towary, rzeczy, - Niebezpieczne środki, które muszą być ewakuowane, - Sprzęt specjalistyczny. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lotniczy (samoloty, śmigłowce, drony), - Lądowy (samochody, traktory, pojazdy gąsienicowe itp.), - Kolejowy (pociągi towarowe i osobowe), - Morski (statki, promy, barki, łodzie, platformy pływające, itp.).

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [12, 120-121].

Systemy logistyczne mają wiele wymiarów, w tym wymiar infrastruktury transportowej kraju, przepływów zasobów materiałowych i energetycznych, produkcyjnych, obiektów infrastruktury krytycznej, przemysłowej oraz logistyki wojskowej, służb ratowniczych, itd. Skuteczny rozwój systemów logistycznych uwarunkowany jest dzisiaj implementacją nowoczesnych rozwiązań technologicznych i wprowadzaniem adekwatnych koncepcji i strategii zarządzania oraz modeli ekonometrycznych. Atrybutami współczesnych systemów logistycznych są szybkość, terminowość i jakość realizowanych usług w każdych warunkach. Utrudnieniem natomiast jest rozproszenie usługodawców i ich zasobów materialnych

i niematerialnych. Wymusza to tworzenie wielopodmiotowych struktur organizacyjnych w celu sprostania wymaganiom terytorialnego rozproszenia zasobów i usług, aby zachować na odpowiednim poziomie wcześniej wspomniane atrybuty.

Rozproszenie i wielopodmiotowość działań wymusza stosowanie zaawansowanych metod wspomagania zarządzania oraz poszukiwania najlepszych algorytmów i procedur, aby móc sprostać współczesnym wymaganiom i trendom. Pomocne w tym może okazać się zastosowanie modeli symulacyjnych [1, s 6-7] do weryfikacji i oceny, a także projektowania nowoczesnych, skutecznych rozwiązań organizacyjno-technologicznych doskonalących systemy logistyczne. Ich dużą przewagą jest znaczne obniżenie kosztów i czasu, jaki zajęłoby rzeczywiste, praktyczne sprawdzanie wprowadzonego rozwiązania. W modelach symulacyjnych odwzorowane mogą być różne procesy w wirtualnym środowisku, w którym można opisać rzeczywiste, badane obiekty i zjawiska. Stwarza to pewne przybliżenie, zwykle wystarczające do realnej oceny sytuacji, a czasem staje się to jedynym możliwym wariantem uzyskania takiej oceny i jej wieloaspektowej weryfikacji. Jest to szczególnie ważne w systemach zarządzania kryzysowego, gdzie zdarzenia kryzysowe występują losowo a dodatkowo są nacechowane dynamiką występujących zmian i nieliniowością.

Operatywność logistyczna jest wyznacznikiem i warunkiem rozwoju gospodarczego, ekonomicznego oraz społecznego. Można powiedzieć, że ma odniesienie do działania wszystkich organizacji, przedsiębiorstw, państw oraz podmiotów decyzyjnych w systemie zarządzania kryzysowego. Logistyka nakłada szczególne wymagania na te podmioty, zwłaszcza te, które ściśle wiążą się ze sferą zapewniania bezpieczeństwa. Trudno dzisiaj wyobrazić sobie nowoczesną armię bez nowoczesnej logistyki, która warunkuje sprawne i szybkie przemieszczenie wojsk, sprzętu oraz dostarczanie niezbędnych sił i zapasów do prowadzenia działań w odpowiednim reżimie czasowym. To samo odnosi się do działania służb ratowniczych i całego systemu reagowania kryzysowego, gdzie sprawna nowoczesna logistyka warunkuje skuteczne działanie. Owa skuteczność podyktowana jest krótkim czasem reakcji służb ratowniczych, czasem dojazdu do wskazanego miejsca oraz sprawną ewakuacją i szybkim procesem decyzyjnym.

Utrzymywanie na odpowiednim poziomie ilościowym i jakościowym środków, materiałów, sprzętu i zapasów oraz sprawne późniejsze ich wykorzystanie w sytuacjach kryzysowych, wymaga od systemów logistycznych, bezwarunkowego stosowania nowoczesnych narzędzi wspomagających i doskonalących. Stąd rodzi się potrzeba wykorzystania nowych technologii i narzędzi wirtualizacji w postaci modeli symulacyjnych, które gwarantują odpowiedni stan rozwoju omawianych systemów.

Zaawansowane narzędzia w postaci modeli symulacyjnych powinny stanowić komponent dopełniający funkcjonalność systemów logistycznych w zarządzaniu kryzysowym. Oprócz procesu planowania, realizowania i kontrolowania przepływu ładunków (zasobów), systemy logistyczne powinny cechować się posiadaniem odpowiedniego potencjału informacyjnego, który warunkuje skuteczność i ciągłość [6 s. 145-169] zarządzania procesami logistycznymi.

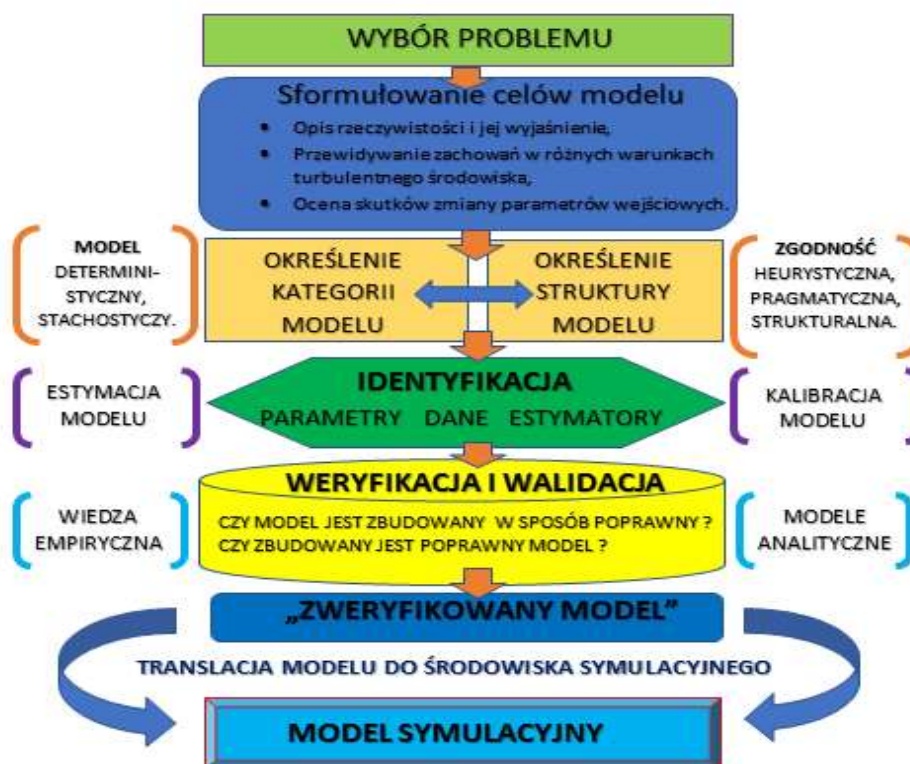
Dostęp do zasobów informacyjnych w każdych warunkach jest determinantą ciągłości działania każdej organizacji, firmy czy systemu [8, 9]. Utrata przewagi informacyjnej, zwłaszcza w sytuacjach kryzysowych, może powodować zachwianie i niewydolność wspomnianych systemów. Stąd istotne jest wykorzystywanie najnowszych narzędzi wspomagających utrzymywanie przepływu, wymiany i gromadzenia informacji w systemach logistycznych. Działania w kryzysie obarczone brakiem informacji, mogą powodować rozrost zagrożenia, choćby przez nieumyślne wprowadzenie paniki wśród ludności, której zachowanie może doprowadzić do znacznego pogorszenia sytuacji. Zachowanie się tłumu w sytuacjach kryzysu jest analizowane i wizualizowane przez wiele modeli symulacyjnych i z praktyki, są to zjawiska nacechowane nieliniowością i nieprzewidywalnością czynnika ludzkiego. Takie informacje wykorzystywane są często przy zabezpieczeniach logistycznych imprez masowych, zbiorowych strajków, imprez sportowych, gdzie brak kontroli tłumu może zmierzać do niebezpiecznych zjawisk.

3. MODELE SYMULACYJNE

Model można traktować jako przybliżoną, uproszczoną reprezentację rzeczywistości, budowany w celu zrozumienia i wyjaśnienia obserwowanego zjawiska, procesu, a także prognozowania rozwoju badanego zjawiska i wspomagania procesu decyzyjnego [7 s. 67-99]. W modelowaniu dąży się do zakładanego celu, którym może być zaprojektowanie (doskonalenie) systemu tak, aby spełniał oczekiwania użytkowników i odbiorców (cele edukacyjne i szkoleniowe, dla wojska, firm, szkół), a także wspierał ocenę i kontrolę istniejących systemów, weryfikował przyjęte koncepcje, itd.

Każdy model jest tworzony według określonej struktury procesu modelowania (Rys. 1), który dąży do najlepszego odwzorowania parametrów (cech) obiektu rzeczywistego lub praw rządzących konkretnym zjawiskiem. Aby uznać model teoretyczny za reprezentatywny, który jest pewną abstrakcją opisującą w specyficzny sposób zależności przyczynowo-skutkowe pomiędzy wyidealizowanymi obiektami – musi istnieć homeomorfizm między elementami rzeczywistymi i abstrakcyjnymi. Zatem, żeby model spełniał swoje funkcje, powinien

definiować obiekty abstrakcyjne wraz z wcześniej wspomnianymi relacjami przyczynowo-skutkowymi zachodzącymi pomiędzy nimi wg wymagań określonego środowiska symulacyjnego [4].

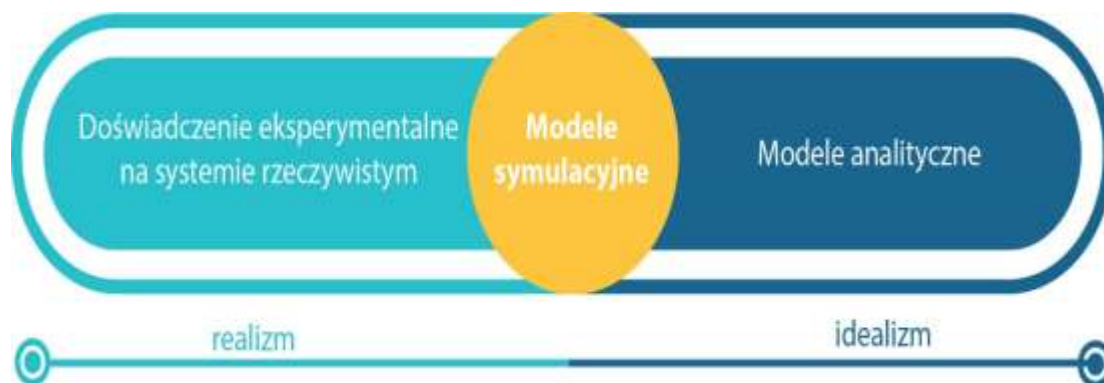


Rysunek 1. Uproszczony schemat (algorytm) tworzenia modelu
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [13, s. 175].

Samo pojęcie symulacji (łac. *simulatio* – „udawanie” od *similis* – „podobny”) oznacza przyjmowanie wyglądu czegoś innego, a także naśladowanie lub odtwarzanie czegoś [13, lub przybliżone odtwarzanie zjawisk lub zachowań jakiegoś obiektu za pomocą jego modelu [14] Metoda symulacji jest uznawana za specyficzną metodę badawczą, która umiejscawia się między badaniem obiektów fizycznych, realnie istniejących a badaniem analitycznym.

Duża różnorodność podejść przy budowie modelu symulacyjnego jest dowodem na to, że jest to obszar o nieograniczonych możliwościach do opisu różnych zjawisk i czynników turbulentnego środowiska, w którym dzisiaj żyjemy. W procesie tworzenia modelu jego elementy składowe odzwierciedlające pojedyncze czynniki upraszcza się, z nich dalej buduje się uproszczone modele podsystemów, które to z kolei budują cały model danego obiektu, systemu. Zjawiska w przyrodzie są często zmiennymi dynamicznymi, co warunkuje, że modele będą nieliniowe, jak rzeczywistość. Znaczna większość zjawisk występująca w środowisku jest niemożliwa do opisanie metodami analitycznymi, więc modele symulacyjne nabierają dużego znaczenia, ponieważ są jedynymi narzędziami do ich analizy i badania. Modele symulacyjne są

spoiwem łączącym metody analityczne z rzeczywistymi doświadczeniami i stanowią swoistą „hybrydę”, likwidującą znaczne ograniczenia obu technik (Rys. 2). Z czasem rozwoju nowszych narzędzi technologiczno-informatycznych modele symulacyjne coraz pełniej odzwierciedlają rzeczywistość a nawet mogą ją tworzyć (pod warunkiem, że sztuczna inteligencja i rozwój Internetu rzeczy [3, s. 195-215] przekroczy tzw. „barierę atomu”).



Rysunek 2. Techniki analizy/badania rzeczywistości
Źródło: opracowanie własne na podstawie [4], [2, s.718].

Współczesne zagrożenia kryzysowe wymagają złożonego systemu działania, cechującego się dużą elastycznością, szybką adaptacją do dynamicznie zmieniających się warunków [12, s 121]. Dlatego dla potrzeb i wymogów logistyki działań kryzysowych należy prognozować rodzaj, czas i zasięg zagrożenia kryzysowego. Adekwatnymi narzędziami do tak postawionego celu wydają się być modele symulacyjne, dzięki którym możemy prognozować, przewidywać i symulować odtwarzanie najbardziej prawdopodobnego przebiegu zdarzenia.

4. DOSKONALENIE PROCESÓW LOGISTYCZNYCH W SYSTEMACH ZARZĄDZANIA KRYZYSOWEGO

Nieprzewidywalność zjawisk kryzysowych zmusza decydentów do stosowania zaawansowanych modeli symulacyjnych w celu prognozowania i wirtualizacji [5 s. 27-49] złożonych zjawisk przyrodniczych i społecznych. Generowanie wielu alternatywnych scenariuszy i wybór/dobór jednego z nich do analizowania sytuacji pozwala na odpowiednie przygotowania i szkolenie choćby w podobnych warunkach, jakie mogą zaistnieć. Nieodzownym staje się też zwizualizowanie i odtworzenie przebytych katastrof i kryzysów z przeszłości, co też dobrze wpisuje się w środowisko symulacyjne.

Zmienność i dynamika środowiska sprawiają, że zjawiska kryzysowe są nieprzewidywalne a ich zabezpieczenie pod względem logistycznym, technicznym, i informacyjnym jest w zasadzie

złożonym procesem stochastycznym ze względu na zaskoczenie i wcześniejszą nieprzewidywalność oraz niepowtarzalność zjawiska kryzysu. Jednym z wielu istniejących rozwiązań do wspomagania procesów logistycznych w systemach zarządzania kryzysowego mogą być symulatory szkolenia, które mają za zadanie zastąpienie świata rzeczywistego światem wirtualnym. Narzędzia tej klasy stwarzają nowoczesne możliwości w zakresie doskonalenia modelu funkcjonowania służb ratowniczych i innych podmiotów uczestniczących w likwidacji zagrożenia. Symulatory szkolenia umożliwiają prowadzenie ćwiczeń i treningów w wirtualnym środowisku przy zachowanych rzeczywistych procedurach i wyposażeniu. Środowiska symulacyjne (trenażery) w szkoleniu stwarzają takie możliwości jak:

- a) symulacja przebiegu możliwych scenariuszy działań;
- b) tworzenie własnych wariantów scenariuszy działań;
- c) prognozowanie zachowania się obiektów i podmiotów takich jak: pojazdy, ludzie;
- d) analiza przepustowości infrastruktury logistycznej i działania prawdopodobnych kanałów dystrybucyjnych i przewozowych;
- e) możliwość weryfikacji dróg ewakuacji i wytrzymałości newralgicznych punktów takich jak mosty, tamy, wiadukty, pod względem obciążalności i wytrzymałości;
- f) możliwość tworzenia własnych opracowań z wykorzystaniem map, obiektów, które w rzeczywistości mogą być sprawdzone przed realnym wykonaniem;
- g) możliwość rejestrowania i odtwarzania przebiegów symulacji (ang. AAA- After Action Review) dla potrzeb podejmowania decyzji w realnych zagrożeniach.

Stosowane narzędzia symulacyjne w modelowaniu zagrożeń środowiska, w sposób bardzo realny potrafią odzwierciedlać rzeczywistość. Scenariusze w modelach symulacyjnych (trenażerach) są projektowane w zobrażowaniu 3D, co czyni ich przebieg bardzo realistycznym dla człowieka. Na rys. 3 pokazano zobrażowanie akcji ratowniczych na symulatorze VBS2.



Rysunek 3. Wizualizacja sytuacji w środowisku symulacyjnym VBS2
 Źródło: <http://www.trenazery.com.pl/zarzadzanie-kryzysowe>, dostęp 29.02.2019 r.

System VBS2 jest systemem, który może współpracować z innymi aplikacjami i interfejsami wirtualnymi, a dzięki odpowiedniemu interfejsowi skutecznie może współpracować z innymi podsystemami. Specyfika środowiska symulacyjnego daje użytkownikowi możliwość zaprogramowania wydarzeń i efektów, które wpłyną na nieprzewidywalność przebiegu scenariusza. Podaje się wiele możliwości wykorzystania systemu symulacyjnego VBS2 w zarządzaniu kryzysowym, zaczynając od prostych zdarzeń po duże katastrofy. System symulacyjny VBS 2 może być środowiskiem symulacyjnym jako trenażer kierowcy wozu PSP, który umożliwia wizualizację sytuacji i widok jak w rzeczywistym pojeździe. Ponadto posiada liczne moduły pola walki (moduł FIRES, STRIKE, JTAC - symulator wsparcia lotniczego). Może także spełniać funkcję symulatora dochodzeniowo-śledczego, posiadającego zdolność zobrazować sytuacje nie do odtworzenia w zwykłych eksperymentach śledczych ze względu na koszt, miejsce i warunki.

Rodzaje prawdopodobnych zdarzeń, jakie mogą być realizowane w module symulacyjnym nie mają większego ograniczenia i zazwyczaj są podyktowane potrzebami szkolonych. W tab. 2 przedstawiono wybrane scenariusze ćwiczeń wraz z zadaniami, jakie wspomaga moduł logistyczny (procesy logistyczne) w systemie zarządzania kryzysowego.

Tabela 2: Wybrane scenariusze i zadania dla logistyki w sytuacjach kryzysowych

Przykładowe scenariusze ćwiczeń	Przykładowe zadania i wymagania, którym musi sprostać logistyka w sytuacjach kryzysowych
wieloogniskowy pożar lasu	Przejezdność dróg dla służb ratowniczych (korki spowodowane paniką), dowóz środków ratowniczych, alternatywne drogi dojazdu
powódź oraz lokalne podtopienia	Ewakuacja (ludności, zwierząt, rzeczy) dowóz środków niezbędnych do przetrwania, dowóz środków ratowniczych i sprzętu do usuwania zniszczeń.
rozległe zniszczenia spowodowane przez silny wiatr	Dojazd służb ratowniczych, zaopatrzenie w środki do przeżycia, ewakuacja, dowóz sprzętu
epidemia choroby	Dojazd służb ratowniczych, sanitarnych, zaopatrzenie w niezbędne środki, wydzielenie obszaru kwarantanny i zaopatrzenie go w niezbędne środki
Zadania obronne	Szyki dowóz odpowiednich służb przez dostępne drogi, dowóz odpowiedniego sprzętu i zaopatrzenia,
zabezpieczenie imprez masowych	Utrzymywanie przejezdności dróg ewakuacyjnych w czasie wystąpienia paniki, zabezpieczenie odpowiedniej ilości środków transportu,
katastrofy ekologiczne	Transport służb ratowniczych, środków do przetrwania, sprzętu, sprzętu do usuwania zniszczeń, ewakuacja ludności na masową skalę.
katastrofa kolejowa	Dojazd służb ratowniczych, sprzętu specjalistycznego, udrożnienie przejezdności innych pociągów
skażenie chemiczne	Ewakuacja ludności, dojazd odpowiednich służb ratowniczych, transport potrzebnego sprzętu

inne	Zabezpieczenie ewakuacji, dróg dojazdowych oraz środków do ewakuacji na nieznane i nieprzewidywalne sytuacje kryzysowe, działanie w środowisku turbulentnym.
------	--

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12, s. 122-123].

Stosowanie tej klasy modeli i narzędzi prowadzi do zmniejszenia kosztów szkoleń oraz ćwiczeń w różnych sytuacjach, które są bardzo trudne do odtworzenia w rzeczywistości, a także do sprawdzenia efektywności i poprawności nowych procedur, możliwości ćwiczenia na odległość, a w tym możliwości ćwiczenia z nowym sprzętem.

Kolejnym środowiskiem symulacyjnym, które z powodzeniem wykorzystywane jest do wspomagania procesów logistycznych w systemach zarządzania kryzysowego jest oprogramowanie symulacyjne VENSIM, które umożliwia modelowanie i symulację dowolnych systemów zawierających elementy i relacje opisane zależnościami matematycznymi [16]. Aplikacja ta posiada stosunkowo prosty interfejs umożliwiający szybkie budowanie modeli z gotowych (reprezentujących zmienne) elementów a następnie połączenie ich zależnościami (wektory, łuki) obrazującymi relacje zachodzące między nimi. Relacje te definiuje się za pomocą funkcji z biblioteki. W środowisku definiuje się odpowiednie zmienne (czas, jednostki miary, krok czasowy) a następnie przeprowadza symulację. W oprogramowaniu VENSIM możemy stworzyć przykładowo model magazynu do przechowywania zapasów na wypadek sytuacji kryzysowej oraz przeanalizować cały proces gospodarowania nimi w kryzysie, dodatkowo wprowadzając odpowiednie warunki realizacji. Dodatkowo można przeprowadzić symulacje zakłóceń systemu zaopatrywania, jakości towarów, dystrybucji oraz manipulować nieznanymi losowymi turbulencjami. Stosowanie tego środowiska pozwala na zastąpienie eksperymentów rzeczywistych eksperymentami symulacyjnymi, co daje oszczędność czasu zużywanego na realizację złożonych algorytmów planowania. Zmniejsza się także stopień niepewności w odniesieniu do praktycznych procesów realizowanych w systemach logistycznych. W praktyce modele te można wykorzystać do systemu ekspertowego służącego do oceny funkcjonowania dynamicznych procesów logistycznych.

Wykorzystanie środowiska VENSIM wykracza poza podane wyżej ramy i można je stosować w symulacji zagadnień związanych z projektowaniem i eksploatacją maszyn i urządzeń logistycznych, a w tym z prognozowaniem żywotności sprzętu stosowanego w logistyce w warunkach zagrożeń i kryzysów.



Rys. 4 Wizualizacja „ciepłna” ruchu oraz klatka z bloku symulacyjnego

Źródło: <https://sourceforge.net/p/transimsstudio/wiki/Home/>, dostęp 29.02.2019 r.

Modele symulacyjne mają szerokie zastosowanie w analizie logistycznej dróg, rond i innych obiektów infrastruktury drogowej, tam gdzie metody stricte obliczeniowe stają się zbyt złożone a czasem i niemożliwe do użycia. Metody takie nie uwzględniają na przykład zjawisk zachodzących na rondzie spowodowanych przez różne czynniki (blokowanie ronda na wylocie, spowolnienie ruchu przez pojazdy specjalne itp.) oraz innych zjawisk występujących przy strategicznych odcinkach drogowych. Jednym z rozwiązań stosowanych w badaniach systemów transportowych [11] są modele ruchu oparte na automatach komórkowych. Przykładem takiego systemu jest narzędzie TRANSIMS wykorzystywane jako zintegrowane środowisko symulacyjne wspomagające analizy systemów transportowych. Widok zobrazowania systemu został pokazany na rys. 4.

Organizacja środowiska symulacyjnego umożliwia wielokrotne obliczenia i zapamiętywanie ich rezultatów. Można zatem obliczyć przepustowość wlotu i wylotu oraz całego ronda w wariacie możliwej i rzeczywistej przepustowości. Wykorzystywanie modeli symulacyjnych do wizualizacji ruchu daje możliwość zlokalizowania i określenia odcinków newralgicznych o wysokim natężeniu ruchu. Ma to duże znaczenie w logistyce, a w szczególności systemie dostaw towarów oraz w systemach ratowniczych, gdzie utrudnienia w ruchu i blokowanie odcinków dróg może skutkować poważnymi startami i konsekwencjami. Dzięki wykorzystaniu symulacji możemy zawczasu przewidzieć „zachowanie się” infrastruktury drogowej w przypadku ewakuacji ludności z obszarów dotkniętych pożarem lub innymi sytuacjami kryzysowymi, wytyczyć alternatywne drogi dojazdu służb ratunkowych. Tak samo w przypadku katastrof drogowych można lepiej rozplanować ruch objazdowy.

Transport drogowy jest niewątpliwie strategicznym elementem procesów logistycznych zwłaszcza w sytuacjach kryzysowych i wymaga ciągłego zarządzania i optymalizacji, co czasem wiąże się z koniecznością rozwiązywania złożonych sytuacji problemowych oraz podejmowania trafnych decyzji w krótkim czasie. Gęsta sieć dróg i zabudowań stanowi dodatkowe utrudnienie a zarazem wyzwanie dla służb logistycznych,

które muszą przy równoczesnym zachowaniu terminów dostaw minimalizować ich koszty. Ponadto towary o znaczeniu strategicznym muszą być dostarczane bez większych opóźnień i bez dodatkowych kosztów. Analogicznie od służb ratowniczych wymaga się szybkiego działania i najkrótszego czasu dojazdu, przy czym możliwość analizy symulacyjnej dróg może znacznie ułatwić a nawet przyspieszyć działanie.

Kolejnym narzędziem modelowania i symulacji problemów transportowych w logistyce, jest program Arena, który umożliwia symulacje procesów produkcyjnych i ich optymalizację kosztowo-czasową przy zachowaniu poziomu jakości itp. System symulacyjny Arena umożliwia określenie struktur logicznych rządzących procesami zagadnień transportowych, co pozwala na uniknięcie długiego procesu analiz, szczególnie procesów na dużym obszarze oraz problemów związanych z zagadnieniami: harmonogramowania, lokalizacją towarów, pustych przebiegów, przestojów i awarii.

Istnienie wielu modeli symulacyjnych do sterowania ruchem, których zadaniem jest elastyczne reagowanie na zmiany w przepływie pojazdów i ewentualny wpływ na kierujących pojazdami sprawia, że czas dojazdu środków transportowych jest coraz skuteczniej optymalizowany. Narzędzia takie posiadają możliwość wprowadzenia algorytmu priorytetu dla danego pojazdu lub grupy pojazdów. Zaletą tego jest sprawnie funkcjonujący system sterowania ruchem, który umożliwia skrócenie czasu podróży pasażerów, transportu logistycznego, a co najważniejsze dojazdu służb ratowniczych. Aby te systemy mogły funkcjonować na wymaganym poziomie pożądanym jest użycie modeli symulacyjnych do doskonalenia ich działania. Symulacje pozwalają więc dobrać najefektywniejszy algorytm sterowania konkretnym skrzyżowaniem, czy odcinkiem drogi tak, aby umożliwić dojazd straży pożarnej, czy pogotowia ratunkowego w jak najkrótszym czasie.

Na świecie stosuje się wiele rozwiązań środowisk tego typu wspomagających zarządzanie ruchem i zagadnieniami transportu. Ich wykorzystanie jest podyktowane strukturą i potrzebą badanego zjawiska. Przykładami szeroko stosowanych systemów są systemy SCATS i Vissim (Rys. 5),



Rysunek 5. Widok platformy symulacyjnej a)SCATS b)Vissim

Źródło: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/> <https://www.scats.com.au/>, dostęp 29.02.2019 r.

W doskonaleniu procesów logistycznych w zarządzaniu kryzysowym wykorzystywać można także systemy JTLS, JCATS. Są to systemy stosowane w wielu armiach świata do szkolenia wojsk w operacjach bojowych, jak i operacjach reagowania kryzysowego. Z wykorzystaniem tych systemów realizowane mogą być ćwiczenia zarządzania kryzysowego wszystkich podmiotów państwowych w systemach reagowania kryzysowego, gdzie skutecznie można przeciwiczyć wybrane wersje zdarzeń oraz sprawność systemów logistycznych. System symulacyjny JCATS może symulować 60 tys. różnego rodzaju elementów i można w nim modelować pojedyncze obiekty, które w razie potrzeby mogą być połączone w większe struktury. Moduł logistyczny programu posiada niezbędne funkcje do symulacji procesów logistycznych pod kątem sprawności zaopatrywania, remontów, diagnozy uszkodzeń sprzętu oraz uzupełniania i gromadzenia zapasów itd.

System JTLS posiada bardziej rozbudowany moduł logistyczny i ma możliwość przeprowadzenia symulacji wszystkich procesów logistycznych, we wszystkich obszarach funkcjonalnych. Pomimo, że ich głównym odbiorcą są siły zbrojne, systemy te dobrze spełniają swoją rolę w doskonaleniu systemów zarządzania kryzysowego, w tym procesów logistycznych.

Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że za pomocą modeli symulacyjnych nie dowiemy się jednak, jak dokładnie zachowa się rozpatrywany system w rzeczywistości. Z ich pomocą można określić zachowanie, które ma największe prawdopodobieństwo zaistnienia. Jest to spowodowane tym, że prawie wszystkie zjawiska w codziennych sytuacjach zwłaszcza w systemie zarządzania kryzysowego mają charakter nieliniowy. Nieliniowość powoduje ich nieprzewidywalność a dodatkowe czynniki z otaczającego je środowiska turbulentnego podwajają tę niepewność.

5. WERYFIKACJA I WALIDACJA MODELI SYMULACYJNYCH W PROCESACH LOGISTYCZNYCH

Modele symulacyjne są stosowane w przypadku dynamicznej analizy zachowania się systemów i obserwacji stanów realizacji procesów logistycznych, gdzie nie można lub bardzo trudno jest uzyskać pożądane rozwiązanie analityczne. Bez możliwości realizacji badań symulacyjnych procesów i systemów logistycznych niemożliwe jest określenie wpływu poszczególnych czynników na zachowanie się całego systemu. Modele symulacyjne coraz częściej wykorzystywane są do przeprowadzania eksperymentów i doświadczeń, poprzez które chce się uzyskać dane i informacje pozwalające podejmować najkorzystniejsze decyzje w systemach logistycznych. Twórcy systemów symulacyjnych dążą do tego, aby wyniki symulacji były jak najbardziej zbliżone do zjawisk rzeczywistych i aby decyzje podejmowane na jej podstawie były trafne i pozbawione większego błędu. Konieczne zatem jest ścisłe kontrolowanie budowy całego modelu symulacyjnego zaczynając od jego koncepcji opracowania, poprzez proces tworzenia, implementacji, weryfikacji aż do gotowych wyników symulacji otrzymanych z danego modelu.

Metodami za pomocą, których można dokonać oceny poprawności modelu symulacyjnego oraz zminimalizować ryzyko podjęcia błędnej decyzji na podstawie wyników symulacji są weryfikacja i walidacja [4], czyli działania zmierzające do rozstrzygnięcia, czy implementacja modelu jest zgodna z opisem i specyfikacją jego twórcy lub czy model jest wiernym odwzorowaniem rzeczywistości z perspektywy jego zamierzonych zastosowań. Narzędzi do przeprowadzenia weryfikacji i walidacji modelu symulacyjnego jest wiele. W tab. 3 pokazano niektóre techniki stosowane w procesach weryfikacji i walidacji [2, s. 717-718] modeli symulacyjnych.

Tabela 3. Wybrane techniki weryfikacji i walidacji modeli symulacyjnych

Technika weryfikacji i walidacji	Opis techniki
Konfrontacja z innymi modelami	Porównanie wyników modelu symulacyjnego z wynikami innych zasadnych istniejących modeli opisujący dany system i służące do rozwiązania tego samego problemu
Testy warunków ekstremalnych	Struktura modelu i wyniki powinny potwierdzić założenia istnienia warunków ekstremalnych
Testy stałych wartości	Jako dane wejściowe modelu i jego parametry wykorzystywane są stałe wartości procesu
Metody grafiki operacyjnej	Zachowanie się zmiennych wyjściowych modelu prezentowane jest w trakcie przebiegu eksperymentu w formie graficznej w funkcji czasu

Testy zgodności	Technika polega na testowaniu hipotez o zgodności rozkładów empirycznych z założeniami w modelu symulacyjnymi rozkładami prawdopodobieństwa. Testowana jest także hipoteza, że wyniki generowane podczas symulacji mogą być traktowane jako realizacja procesy stochastycznego o rozkładach prawdopodobieństwa obliczanych na podstawie danych wcześniejszych
-----------------	---

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [2, s.719-721].

W praktyce weryfikacji i walidacji modeli symulacyjnych wykorzystuje się wiele technik. Zamieszczone w tab. 3 techniki są wybrane spośród wielu innych w celu pokazania różnorodności podejść do oceny poprawności modeli symulacyjnych.

ZAKOŃCZENIE

Modele symulacyjne mają coraz większe zastosowanie we wszystkich gałęziach gospodarki i dziedzinach życia społecznego. Wraz z rozwojem technologicznym – głównie w sektorze IT - jakość tych modeli w wymiarze trafności odwzorowania rzeczywistości będzie rosła. Dodatkowo rozwój sieci neuronowych i sztucznej inteligencji sprawia, że środowisko symulacyjne staje się częścią rzeczywistości i łączy się z nią w nierozdzielalną całość. Rzeczywistość wirtualna staje się coraz bardziej powszechna i głównie jest kojarzona z modelami symulacyjnymi i grami komputerowymi. Rozwój świata symulacji sprawia, że jest wszechobecny w systemach prognozowania i przewidywania oraz oceny i weryfikacji nowych opracowań w technice i cennym narzędziem w doskonaleniu różnego typu usług. Systemy logistyczne poprzez wykorzystywanie modeli symulacyjnych mogą redukować koszty nowych rozwiązań i ich wdrożeń w aspekcie jakościowym zarówno w wymiarze wykonawczym, jak i zarządczym oraz decyzyjnym.

LITERATURA

- [1] Balcerak A., Kwaśnicki W. 2005, Modelowanie symulacyjne systemów społeczno-gospodarczych: różnorodność podejść i problemów, Wrocław, 5-9, <http://www.researchgate.net/publication/265823604>, (stan na dzień 21.03.2019 r).
- [2] Karkula M., 2012, Weryfikacja i walidacja dynamicznych modeli symulacyjnych procesów logistycznych, Logistyka , tom 2, 717-726.
- [3] Ogórek M., Zaskórski P., 2018, Internet rzeczy w integracji procesów zarządzania kryzysowego. Poznań, Zeszyty Pol. Poznańskiej, tom 67, 199-215.
- [4] Tucker W., 1995 A Glossary of modeling and Simulation Terms for Distributed Interactive Simulation, dostęp <https://www.acm-sigsim-mskr.org/glossary.htm> (stan na dzień 19.03.219 r.).

- [5] Zacher Lech. W., [red.], 2013, Wirtualizacja, problemy, wyzwania, skutki., Warszawa, Poltext.,
- [6] Zaskórski P. (red. nauk.), 2011, Zarządzanie organizacją w warunkach ryzyka utraty informacyjnej ciągłości działania, Warszawa, Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej.
- [7] Zaskórski P., 2012, Asymetria informacyjna w zarządzaniu procesami, Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej, Warszawa.
- [8] Zaskórski P., Zaskórski W., 2016, Integracja i bezpieczeństwo procesów logistycznych w środowisku rozproszonym., Warszawa, Gospodarka Materiałowa & Logistyka, tom 5, 809-829.
- [9] Zaskórski P., Szwarec K., Tomaszewski Ł., 2014, Bezpieczeństwo informacyjne determinantą ciągłości działania, [w:] P. Sienkiewicz, H. Świeboda (red.), Metodologia badań bezpieczeństwa narodowego, Warszawa, tom 7, AON, 320-338.
- [10] Ficoń K., 2011, Logistyka kryzysowa. Procedury, potrzeby, potencjał., Warszawa, Studio Bel.
- [11] <https://sourceforge.net/projects/transimsstudio>, (dostęp 21.03.2019 r.).
- [12] Borowiak J., Jędra I., Wąsowicz A., 2014, Logistyka w sytuacjach kryzysowych, Logistyka 4/2014. 121-127.
- [13] Sownik wyrazów obcych. (Pod. red. zb.) J. Tokarskiego. PWN 1980, 719- 720.
- [14] Fjałkowski Z., Fjałkowska D., 2015, Przykład modelowania i symulacji zagadnienia logistycznego w Vensim PLE., Jelenia Góra , Prace Naukowe WWSZiP, T.36, 276-290.
- [15] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Symulacja> (dostęp 28.02.2019 r.).
- [16] Krupa K., 2008, Modelowanie, symulacje i prognozowanie – systemy ciągłe., Warszawa WNT.