

## MODELOWANIE SYSTEMÓW I PROCESÓW LOGISTYCZNYCH MODELING LOGISTIC SYSTEMS AND PROCESSES

**Marian BRZEZIŃSKI**

[marian.brzezinski@wat.edu.pl](mailto:marian.brzezinski@wat.edu.pl)

Wojskowa Akademia Techniczna  
Wydział Logistyki  
Instytut Logistyki

*Streszczenie: scharakteryzowano istotę modelowania systemów logistycznych. Przedstawiono klasyfikację i charakterystykę modeli systemów logistycznych oraz ich zastosowanie do badań systemów logistycznych. Przeanalizowano wybrane metody i modele: metody wielokryterialnych analiz porównawczych, modele masowej obsługi, modele sieciowe oraz sztucznej inteligencji do oceny systemów i procesów logistycznych.*

*Abstract: the essence of modeling logistic systems has been characterized. Classification and characteristics of models of logistic systems and their application to the research of logistic systems are presented. Selected methods and models were analyzed: methods of multi-criteria comparative analyzes, mass service models, network models and artificial intelligence for the assessment of logistics systems and processes.*

*Słowa kluczowe: logistyka, system, model, cecha, kryterium.*

*Key words: logistics, system, model, feature, criterion.*

### WSTĘP

Koncepcje logistyczne są wdrażane w przedsiębiorstwach coraz częściej i na większą skalę. W strukturach organizacyjnych firm pojawiły się stanowiska i pionierzy logistyczne, a menadżerowie logistyki zajmują w hierarchii przedsiębiorstw coraz wyższą pozycję. Logistyka funkcjonuje najczęściej na niższym i średnim poziomie zarządzania. Jak wykazują badania zarządzanie logistyką z poziomu najwyższego występuje w kilkunastu procentach firm. Działalność kierowników logistyki wpłynęła na wzrost skuteczności i zmniejszania kosztów realizacji procesów logistycznych. Wywołała także zapotrzebowanie na systemy oceniania działań logistycznych.

Do negatywnych stron rozwoju logistyki przedsiębiorstw można zaliczyć słabe wdrażanie innowacji. W ocenie autora modele ilościowe nie znajdują większego zastosowania w logistyce przedsiębiorstw. Powoduje to, że możliwości systemu logistycznego nie są w pełni wykorzystywane, co skutkuje wzrostem kosztów, wydłużaniem czasu oraz spadkiem jakości realizacji procesów logistycznych. Zastosowanie modeli formalnych ułatwiłoby także stworzenie systemu oceny systemu logistycznego w przedsiębiorstwach.

Celem opracowania jest analiza możliwości zastosowania modeli systemów i procesów logistycznych. W realizacji pracy zastosowano metody empiryczne w postaci obserwacji naukowej. Obserwację naukową stosowano w celu uzyskania informacji o badanych faktach, zjawiskach i elementach składowych systemów logistycznych przedsiębiorstw. Metody teoretyczne pozwoliły na analityczne zbadanie, uporządkowanie i opis materiału badawczego

uzyskanego w wyniku badań empirycznych. Umożliwiły one zastosowanie metod systemowych i matematycznych i weryfikacji zasadności obowiązujących teorii w zakresie modelowania systemów i procesów logistycznych przedsiębiorstw.

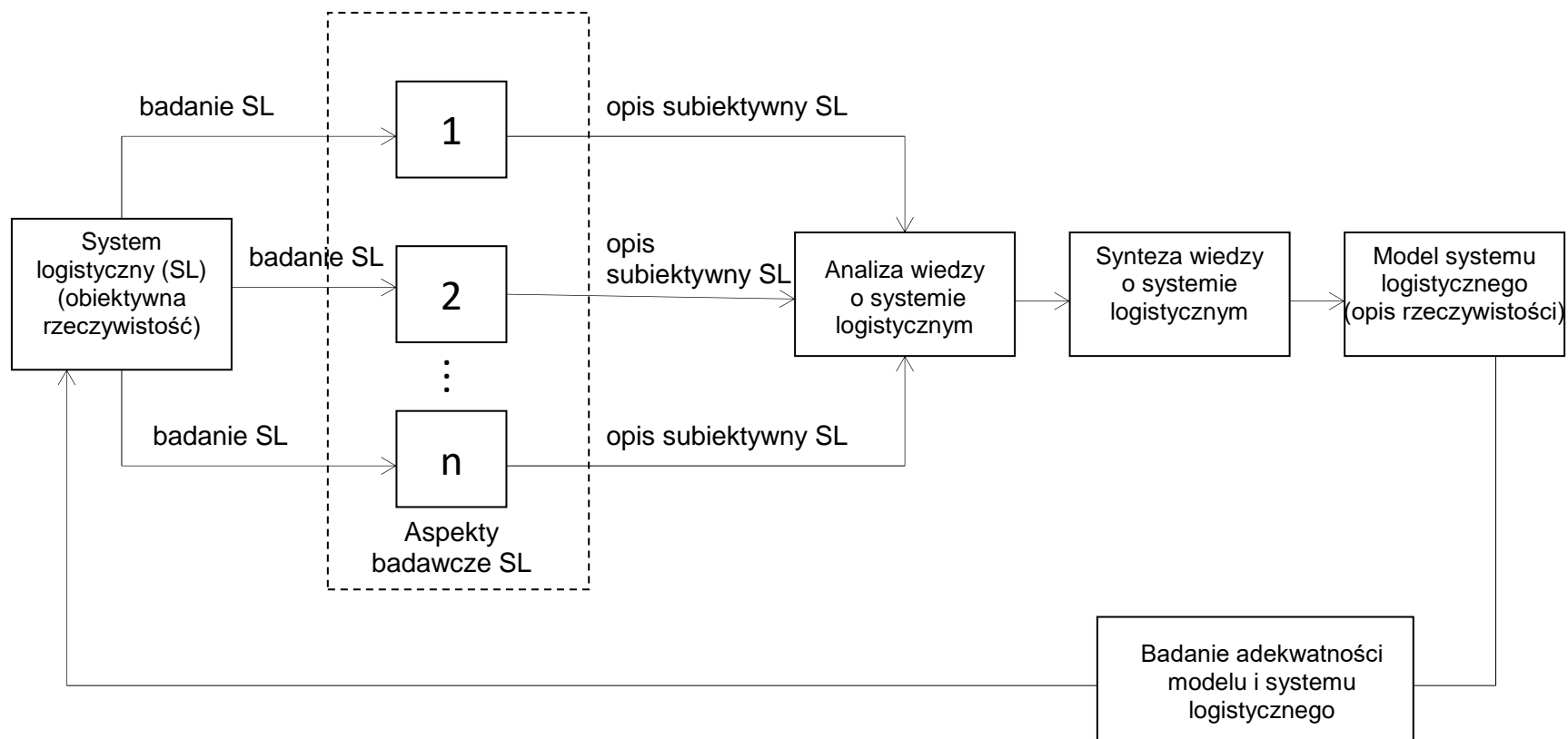
## 1. ISTOTA MODELOWANIA SYSTEMÓW LOGISTYCZNYCH

W inżynierii systemów podstawowym narzędziem poznania rzeczywistości są modele. Są one uznawane jako oryginały, ponieważ są jedynie dostępną nam rzeczywistością. Poznanie określonego fragmentu rzeczywistości, którą jest system (łańcuch, sieć, proces) logistyczny oraz jego zmiana wymaga utworzenia modelu. W modelowaniu systemów logistycznych stosuje się podejście holistyczne. Jest ono orientacją epistemologiczno-metodologiczną według której systemy logistyczne należy ujmować i badać całościowo z różnych punktów widzenia.

Modelowanie jest ciągiem czynności prowadzących do utworzenia modelu systemu. Wyróżnia się różne metody modelowania systemów logistycznych. W praktyce można zastosować przede wszystkim modelowanie opisowe, graficzne i matematyczne. Proces modelowania systemów logistycznych powinno poprzedzać określenie celu tworzenia modelu, jego rodzaju, warunków i ograniczeń oraz istotnych cech modelu odwzorowujących system. Sformułowanie celu wiąże się z opisem problemów do rozwiązania za pomocą modelu.

Ponieważ systemy logistyczne są szczególnie złożonymi systemami społeczno-technicznymi łączącymi w sobie wiele różnorodnych funkcji, stąd ich badanie i opis powinien być realizowany z różnych punktów widzenia. Można je badać i opisywać w aspekcie systemowym, technicznym, ekonomicznym, zarządczym, informatycznym itp. Istota modelowania systemu logistycznego została przedstawiona na rysunku 1.

Każdy opis systemu logistycznego dokonywany jest z określonego punktu widzenia, jest więc opisem subiektywnym. Suma opisów subiektywnych z różnych punktów widzenia daje większą wiedzę o systemie logistycznym. Jest to wiedza w dalszym ciągu subiektywna, ale zawiera więcej informacji o badanym systemie, jest więc bardziej zbliżona do rzeczywistości.



Rys. 1. Istota modelowania systemu logistycznego.

Analiza wiedzy o systemie logistycznym, a następnie jej synteza daje podstawę do utworzenia modelu. Opracowany model powinien być zbadany pod kątem adekwatności z systemem logistycznym. Polega ono na weryfikacji poprawności jego konstrukcji zgodnie z założeniami, ograniczeniami i wymaganiami sformułowanymi przed rozpoczęciem procesu modelowania systemu logistycznego. Model jest adekwatny jeżeli występuje podobieństwo funkcjonalne systemu i modelu, tj. elementów i relacji wewnątrz systemu i z jego otoczeniem. Stopień analogii między systemem logistycznym a jego modelem może być odwzorowany izomorficznie lub homomorficznie.

W przypadku izomorficznego odwzorowania systemu logistycznego przez jego model ma miejsce odwzorowanie wzajemnie jednoznaczne między elementami, jak i między relacjami systemu badanego i jego modelu. Oznacza to, że każdemu elementowi systemu odpowiada jednoznacznie określona relacja w modelu tego systemu i na odwrót. Odpowiedzialność ta jest symetryczna i działa zatem w obydwu kierunkach. W przypadku modeli izomorficznych mamy do czynienia z odwzorowaniem własności funkcjonalnych.

Modele homomorficzne są uproszczonymi w różny sposób modelami systemu logistycznego, a tym samym również uproszczeniami jego modelu izomorficznego. Zatem dany system może mieć jeden model izomorficzny i wiele modeli homomorficznych, określających różne rodzaje i stopnie analogii między tym systemem a jego modelami. Stąd wniosek, że jeżeli system badany poznajemy za pomocą badania jego modeli homomorficznych, to uzyskujemy o nim tym mniej informacji, im mniejszy jest stopień analogii między systemem a danym modelem, czyli im słabsze jest homomorficzne odwzorowanie systemu badanego przez dany model. W przypadku modeli izomorficznych mamy do czynienia z odwzorowaniem własności strukturalnych.

Modele systemów logistycznych mogą być wykorzystywane do określania stanu systemu, jego funkcjonowania, oceny, projektowania, prognozowania zachowań oraz podejmowania decyzji.

## **2. KLASYFIKACJA I CHARAKTERYSTYKA MODELI SYSTEMÓW LOGISTYCZNYCH**

Istnieje duża różnorodność modeli systemów, stąd do ich systematyzacji stosuje się różne kryteria. W ocenie autora z punktu widzenia celów logistyki najszersze zastosowanie znajdują modele semantyczne, graficzne, heurystyczne i matematyczne.

Modele semantyczne systemów logistycznych powstają w wyniku modelowania opisowego. Zawierają one opisy nadsystemu, systemu logistycznego i jego podsystemów, celów, zadań i struktury, cech i parametrów systemu, problemów do rozwiązania oraz otoczenia systemowego. Może nim być także system pojęć, norm, przepisów i zasad funkcjonowania logistyki.

Konceptualizacja modelu semantycznego polega na identyfikacji lub określeniu zbioru głównych cech istotnych do opisu systemu logistycznego, relacji między nimi i sposobów jego działania.

Systemy logistyczne można przedstawić w postaci schematów, harmonogramów, tablic, map, kart przebiegu procesów itp., które są ich modelami graficznymi.

Schematy przepływu są graficznym odwzorowaniem ruchu dóbr materialnych i informacji oraz elementów punktowych (obiektów), w których odbywa się ich transformacja na skutek realizacji procesów logistycznych. Zawierają także przedstawienie wejść, wyjść oraz sprzężeń zwrotnych. Są więc graficznym schematem przebiegu przekształceń w czasie określonych zasileń w wyniku kolejnych czynności, aż do osiągnięcia rezultatu końcowego.

Do graficznego zobrazowania modeli systemów logistycznych stosuje się różnorodne symbole, oznaczenia umowne, opisy słowne, liczbowe, literowe, określonej grubości linie wskazujące natężenie przepływu dóbr materialnych.

Modele graficzne umożliwiają znalezienie głównych powiązań i nieciągłości w systemie logistycznym, podmioty i czas konieczne do wykonywania poszczególnych czynności.

Modele heurystyczne wykorzystuje się najczęściej do sporządzania prognoz oraz w procesach podejmowania decyzji. Można je wykorzystać do określenia stanu logistyki, wskazania kierunków i dynamiki jej rozwoju lub wyboru najlepszej strategii logistycznej. Umożliwiają one odkrywanie nowych faktów i relacji między nimi oraz

odkrywanie nowych prawd. Modele heurystyczne budowane są w oparciu o opinie ekspertów wykorzystując ich wiedzę, doświadczenie i intuicję.

Do budowania modeli heurystycznych najczęściej wykorzystuje się burzę mózgów i metodę delficką. W procesie modelowania stosuje się techniki ankietowe a narzędziem badawczym jest kwestionariusz.

Modele matematyczne odzwierciedlają systemy (łańcuchy, sieci, procesy) logistyczne za pomocą zależności matematycznych. W ocenie autora przedstawienie systemu logistycznego nawet w najprostszej formie matematycznej może przynieść najlepsze efekty poznawcze. Modele matematyczne sporządza się przy określonych założeniach i ograniczeniach, są więc jak każdy inny model pewnym uproszczeniem systemu logistycznego.

Opracowanie modelu matematycznego systemu logistycznego poprzedza sporządzenie modelu semantycznego i często także graficznego.

W zależności od charakteru parametrów do badań systemów logistycznych mogą być wykorzystywane modele: deterministyczne, probabilistyczne, stochastyczne i symulacyjne.

Model deterministyczny działa w taki sposób, że zmiany wielkości wyjściowych wywoływane są jedynie przez zmianę wielkości wejściowych. Oznacza to, że parametry modeli systemu są traktowane jako wielkości stałe w danych warunkach.

Z kolei model probabilistyczny działa tak, że bez zmiany wielkości wejściowych na wyjściu otrzymuje się różne wielkości. Oznacza to, że występują w nim parametry, które są zmiennymi losowymi o znanych rozkładach prawdopodobieństw [49,50].

Natomiast modele stochastyczne działają podobnie jak modele probabilistyczne, z tym, że zmienne losowe zależne są od przypadku.

Modele symulacyjne są cyfrowym odwzorowaniem systemu logistycznego. Powstaje on w wyniku transformacji modelu matematycznego do postaci algorytmu obliczeniowego, a następnie programu komputerowego będącego jego modelem. Celem badań symulacyjnych jest określenie stanu systemu i jego zmiennych oraz zbadanie wprowadzenia zmian na istniejący system oraz określenia skutków tych zmian.

### 3. ZASTOSOWANIE MODELI DO BADAŃ SYSTEMÓW LOGISTYCZNYCH

Założenia epistemiczne wywierają wpływ na stosowane sposoby postępowania badawczego, a więc podejście metodologiczne (z gr. *met* – wyżej zorganizowany + *hodos* – sposób, ścieżka, droga) i cały warsztat naukowy badacza obejmujące adekwatne do obiektu badań strategie, metody, metodyki, reguły, procedury i zabiegi badawcze.

Procedura poznawania rzeczywistości polega na:

- określeniu stanu problemu na podstawie dotychczasowej wiedzy;
- sformułowanie problemu badawczego;
- sformułowanie celu badań;
- określenie szczegółowych problemów badawczych;
- sformułowanie hipotezy głównej i hipotez szczegółowych;
- określenie przedmiotu badań i metod badawczych;
- stworzenie modelu (uproszczonego, odwzorowania fragmentu rzeczywistości);
- przeprowadzenie eksperymentu na modelu;
- weryfikacja hipotezy i sformułowanie wniosków;
- określenie kierunków dalszych badań.

Badania służą poznaniu systemów logistycznych, dotyczących jego cech w najszerszym rozumieniu tego terminu. Systemy logistyczne można scharakteryzować za pomocą zespołu cech wyróżniających je spośród innych zbiorów. Można go wiązać z pojęciem zespołu cech istotnych ze względu na pewne stosunki, oddziaływania, związki systemu logistycznego z otoczeniem i ze względu na pewne prawidłowości wewnętrzne. Przy czym istotność cech jest względna ponieważ w rozmaitych powiązaniach i stosunkach istotne okazują się inne cechy systemów logistycznych.

Według Arystotelesowej nauki o kategoriach cecha to, co się orzeka o substancji, niesamodzielny składnik rzeczy, dający wyodrębnić tylko myślowo. Wszystkie cechy są niesamodzielne bytowo, muszą bowiem koniecznie współistnieć z systemami logistycznymi, które są ich nosicielami.

Wyróżnia się dwa typy cech: względne (właściwości) i własne. Cechy względne są to jakości systemu logistycznego orzeczone ze względu na stosunek do innego (innych) systemu. Natomiast cechą własną, czyli własnością systemu logistycznego nazywa się jakąkolwiek jakość realną systemu logistycznego stwierdzoną na drodze aktu poznawczego.

Liczba i różnorodność cech systemu logistycznego jest bardzo duża i nie wszystkie możemy poznać. Spośród ogółu cech systemów logistycznych wystarczy wyróżnić cechy

istotne, które decydują o ich naturze i umożliwiają wyodrębnienie spośród innych systemów. Wybór cech, za pomocą których można scharakteryzować system zależy od celu, zakresu i aspektu badawczego systemu logistycznego.

Cechy mogą być niezależne (dystynktywne) lub zależne (redundantne), które są skorelowane z niezależnymi. Można je definiować w sensie opisowym (deskryptywnym) lub wartościowym (normatywnym). Stąd cechy mogą mieć charakter jakościowy lub ilościowy, deterministyczny, losowy lub stochastyczny.

Cechy systemu oraz relacje mogą zmieniać się w czasie wyznaczając chwilowy stan systemu. Pełna znajomość systemu wymaga znajomości wszystkich jego możliwych stanów. Możliwą liczbę stanów systemu  $S$  można określić z następującej zależności:

$$S = n^m \quad (1)$$

gdzie:  $n$ - liczba stanów każdej cechy,  $m$ - liczba cech niezależnych

Cechy ze względu na możliwość ich pomiaru można podzielić na mierzalne wyrażane za pomocą odpowiedniej jednostki miary oraz niemierzalne, które można opisywać słownie w określonej skali. Miarą ilościową cechy lub systemu jest parametr.

Istnieje wiele praktycznych powodów, dla których jest celowe badanie systemów logistycznych. Jest to zagadnienie skomplikowane, niemniej jednak celowe jest przeprowadzenie możliwie efektywnej weryfikacji walorów systemu logistycznego. W wyniku badań powstaje ocena systemu logistycznego. Każda ocena zawiera element poznawczy, wnosząc dodatkowe informacje do zbioru wiedzy, jakim dysponuje podmiot oceniający lub porządkujący zbiór informacji o systemie logistycznym.

Do zasadniczych celów oceny systemów logistycznych można zaliczyć:

- porównanie dwu lub kilku systemów;
- zweryfikowanie stopnia spełnienia wymagań;
- ocena projektu systemu;
- wybór najlepszego rozwiązania.

Biorąc pod uwagę uwarunkowania czasowe, wyróżnia się oceny:

- retrospektywne (*ex post*), czyli formułowane dla przeszłych stanów systemu;
- prospektywne (*ex ante*), czyli formułowane dla przyszłych stanów systemu.

Jak napisano wcześniej poznanie systemu logistycznego lub jego projektowanie wymaga zastosowania modelu. Algorytm opracowania modelu i zastosowania do badań systemu logistycznego przedstawiono na rysunku 2.

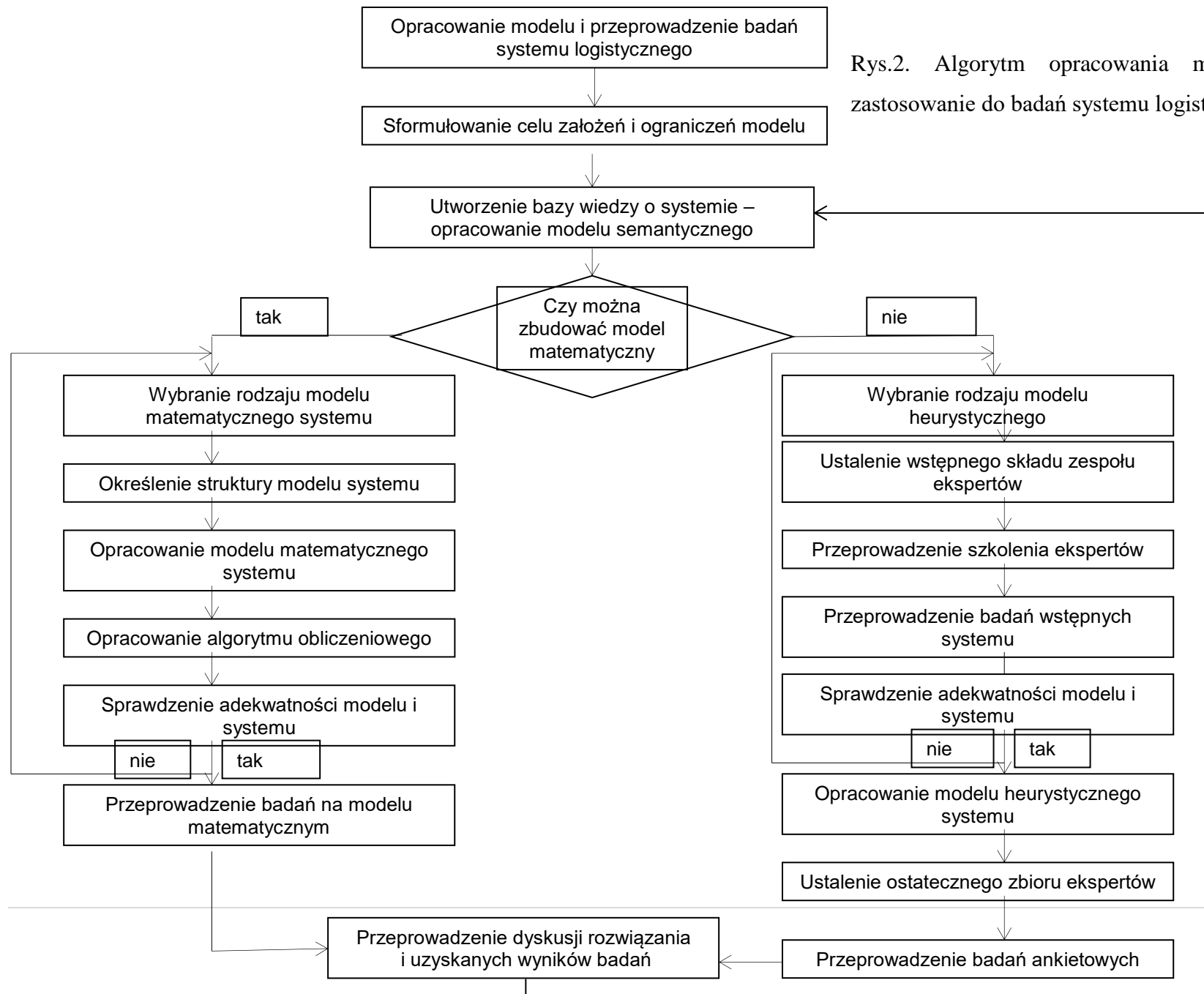


Opracowanie modelu i przeprowadzenie badań systemu logistycznego powinno poprzedzać sformułowanie celu, założeń i ograniczeń modelu. Następnie należy utworzyć bazę wiedzy o systemie logistycznym, określić jego główne cechy oraz parametry co będzie stanowić podstawę do utworzenia modelu semantycznego. Kolejnym krokiem jest analiza możliwości utworzenia modelu matematycznego lub heurystycznego. Jeżeli będzie możliwa transformacja modelu semantycznego na język i pojęcia matematyczne to taki rodzaj modelu może zostać zastosowany. W takim przypadku należy dokonać wyboru rodzaju modelu matematycznego, określić jego strukturę oraz opracować model matematyczny systemu logistycznego oraz algorytm obliczeniowy. Następnie zweryfikować adekwatność modelu i systemu logistycznego a następnie przeprowadzić badania na modelu matematycznym.

Natomiast jeżeli do badań zastosujemy modele heurystyczne, należy na wstępie określić jego rodzaj; ustalić wstępny skład zespołu ekspertów i przeprowadzić ich szkolenie i sprawdzić adekwatność modelu i systemu logistycznego. Następnie opracować model heurystyczny systemu, ustalić ostateczny zbiór ekspertów oraz przeprowadzić badania ankietowe,

Niezależnie od zastosowanego modelu po przeprowadzonych badaniach przeprowadza się dyskusje rozwiązania i uzyskanych wyników badań.

Rezultatem badań systemu logistycznego jest jego ocena przeprowadzona za pomocą określonych modeli i w określonych warunkach. Istnieje wiele metod i modeli, które można zastosować do badań systemów logistycznych. W ocenie autora do zasadniczych metod i modeli badania systemów i procesów logistycznych należą metody wielokryterialnej analizy porównawczej, modele masowej obsługi oraz modele sieciowe



Rys.2. Algorytm opracowania modelu i zastosowanie do badań systemu logistycznego.

## **4. ANALIZA WYBRANYCH METOD I MODELI W ASPEKCIE ZASTOSOWANIA W BADANIACH SYSTEMÓW LOGISTYCZNYCH**

### **4.1. Metody wielokryterialnych analiz porównawczych**

Ze względu na liczebność zbioru kryteriów oceny wyróżnia się oceny jednokryterialne – czyli formułowane na podstawie jednego kryterium, oraz wielokryterialne – oparte na co najmniej dwóch kryteriach. Złożoność systemu logistycznego zmusza do przeprowadzenia badań za pomocą metod analizy wielokryterialnej. Istota badań wielokryterialnych jest ich ujęcie porównawcze, które polega na wyznaczeniu wartości określonego zjawiska ze względu na układ kryteriów oceny.

Zbiór kryteriów powinien spełniać następujące wymagania (Roy, 1990):

- wyczerpywalność oceny, polegająca na uwzględnieniu wszystkich możliwych aspektów rozważanego problemu;
- spójność oceny, polegającej na właściwym kształtowaniu przez każde kryterium globalnych preferencji decydenta;
- nie redundancji, czyli niepowtarzalności zakresów znaczeniowych kryteriów.

Zaleca się, aby zbiór kryteriów zawierał nie więcej niż 5-9 kryteriów (Żak, 2005) ze względu na ograniczenie percepcji decydenta, a tym samym jakości procesu oceny.

Kryteria oceny mogą być określone ilościowo i jakościowo. Wartości kryteriów określone ilościowo są jego parametrami czyli liczbami rzeczywistymi mianowanymi, mierzalnymi w sensie fizycznym. Zastosowanie wielokryterialnej analizy porównawczej będzie wymagało także skwantyfikowania kryteriów jakościowych poprzez przypisanie im określonych wartości liczbowych. Według autora ocenę systemów i procesów logistycznych i obiektów logistycznych (magazynów, centrów logistycznych, środków transportu) można dokonywać w oparciu o wskaźniki, które mogą być kryteriami oceny. Określenie subiektywnie wyspecyfikowanych kryteriów oceny wymaga ustalenia względnej ważności poszczególnych cech. Ustalenie w miarę obiektywnych wag ma istotne znaczenie dla końcowego rezultatu. Wagi kryteriów mają charakter eksperymentalny i są określane na podstawie badań ankietowych, szacunków ekspertów, doświadczenia lub analizy materiałów źródłowych.

W ocenie autora do oceny systemów i procesów logistycznych można zastosować następujące metody wielokryterialnych analiz porównawczych: taksonomii numerycznej, AHP (ang. *Analytic Hierarchy Process*), Bellingera, ELECTE III).

Metody wielokryterialnych analiz porównawczych są przeznaczone do porównania systemów charakteryzujących się identycznym lub zbliżonym przeznaczeniem funkcjonalnym. Systemy są porównywane według jednakowych cech, które można przedstawić ilościowo.

W metodach tych za kryterium porównania systemów przyjmuje się stan jakości, który jest funkcją istotnych kryteriów porównywanych systemów. Składowe stanu jakości wyznaczają odpowiednie relacje dominowania.

Jakość jest to zbiór cech systemów określający stopień, w jakim odpowiada wymaganiom (spełnia wymagania) określonego użytkownika (konsumenta). Jest ona synonimem najlepszych cech (przymiotów) rozpatrywanego systemu oraz oceną określającą stopień w jakim dany system odpowiada wymaganiom oceniającego. Określa system logistyczny w sposób wielostronny i jest właściwością zbiorczą, w skład której wchodzi cechy mierzalne i wielkości niemierzalne.

Bezwzględność miary kompleksowego wskaźnika oceny należy interpretować jako odchylenie stanu jakości systemu od początku skali liczbowej. Natomiast względność miary wskazuje na stopień odchylenia od stanu wskaźnika jakości obiektu uznanego za system wzorcowy. Wskaźnik jakości systemu wzorcowego jest pewną liczbą określającą optymalną (ekstremalną) – pożądaną wartość kryterium. Stąd też określenie kompleksowego wskaźnika odbywa się na drodze agregowania kryteriów metodą bezwzorcową lub wzorcową. W metodzie wzorcowej stosuje się zależności analityczne określające odległość badanego systemu od systemu wzorcowego. Z kolei w metodzie bezwzorcowej agregowanie kryteriów polega uśrednieniu znormalizowanych wartości cech opisujących dany system.

#### **4.2. Analiza modeli masowej obsługi w aspekcie zastosowania do badania systemów logistycznych**

Podstawę do opracowania modeli systemów logistycznych może stanowić teoria masowej obsługi zwana także teorią lub zagadnieniem kolejek. Z problemem kolejek mamy do czynienia w życiu codziennym, np. w sklepach, bankach, stacjach benzynowych oraz działalności logistycznej, np. realizacja prac ładunkowych. Wykorzystując teorię masowej obsługi można opracować także modele, które pozwolą określić podstawowe parametry procesów logistycznych, umożliwiające ich projektowanie oraz ocenę jakości systemu (Brzeziński, 2015).

Strumień dóbr materialnych wpływających do systemu logistycznego może mieć różny rozkład: regularny (deterministyczny) o stałych odstępach czasu, wykładniczy lub dowolny. Najczęściej jest on kompozycją różnych rozkładów elementarnych. Można go scharakteryzować za pomocą parametrów ilościowych oraz jakościowych. Parametry ilościowe określają ile dóbr materialnych i kiedy wpływa do systemu logistycznego. Natomiast parametry jakościowe opisują rodzaj dóbr i ich postać.

Ponieważ strumienie dóbr materialnych wpływające do systemu logistycznego oraz przekształcone w nich nie zawsze będą o charakterze deterministycznym, stąd podstaw modelowania należy poszukiwać w teorii procesów stochastycznych.

Zagadnienie kolejek wywodzi się z teorii procesów stochastycznych traktowanych jako abstrakcja matematyczna empirycznych układów zmieniających się losowo w czasie. Procesy stochastyczne, w których istnieje pewien ustalony, skończony lub przeliczalny zbiór wartości, które mogą przybierać realizację tych procesów (np. część strumienia dóbr materialnych wpływająca do systemu logistycznego może być jedynie liczbą całkowitą), nazywa się procesami stochastycznymi o dyskretnych realizacjach. Wartości, które mogą w takich procesach stochastycznych przybierać ich realizację nazywa się stanami, a cały proces traktuje się jako zjawisko zmian stanu systemu logistycznego.

Szczególne miejsce w procesie modelowania analitycznego, jak i w teorii masowej obsługi odgrywają procesy Markowa (Brzeziński, 2010). W ocenie autora modele stochastyczne zbudowane w oparciu o procesy Markowa lepiej oddają naturę działania systemów logistycznych niż modele deterministyczne, ponieważ umożliwiają opis dynamiki procesów logistycznych. Zastosowanie modeli stochastycznych umożliwia także dokonywanie analiz i ocen systemów logistycznych na bieżąco, co pozwoli na skrócenie czasu reakcji systemu logistycznego na potrzeby systemu operacyjnego.

Procesy Markowa, są one ciągiem zdarzeń, w którym prawdopodobieństwo każdego z nich zależy jedynie od wyniku poprzedniego. Najprostszym przykładem procesu Markowa jest proces Poissona. Proces Poissona można traktować jako model matematyczny strumienia dóbr materialnych wpływających do systemu logistycznego pojawiających się w przedziale czasowym  $[0, t]$ . Parametr  $\lambda$  jest intensywnością strumienia dóbr materialnych ( $\lambda$  jest średnią liczbą losowo pojawiających się zgłoszeń do systemu logistycznego w jednostkowym przedziale czasowym). Strumień Poissona jest więc strumieniem prostym, ponieważ można go w pełni określić podając jedną tylko liczbę  $\lambda$ - intensywność strumienia.

Oprócz intensywności strumienia istotą składową procesu logistycznego jest czas jego transformacji. Charakteryzuje on przepustowość systemu logistycznego. Czas transformacji strumienia dóbr zależy w dużym stopniu od wielu czynników, jest zatem zmienną losową. W badaniach teoretycznych i empirycznych przyjmuje się, że czas (obsługi) strumienia jest zmienną losową o rozkładzie wykładniczym. Można więc przyjąć, że czas transformacji strumienia dóbr materialnych w systemach logistycznych ma taki sam charakter.

Reasumując, systemy logistyczne, można scharakteryzować jako systemy ze strumieniem Poissona na wejściu, z wykładniczym czasem transformacji oraz jednym lub wieloma podsystemami (stanowiskami) logistycznymi.

Można wyróżnić dwa rodzaje systemów logistycznych: z oczekiwaniem i bez oczekiwania. Systemy z oczekiwaniem są systemami bez strat, posiadającymi poczekalnię a ich istota polega na tym, że strumień dóbr materialnych, który wpływa do systemu może go opuścić po wykonaniu procesu transformacji. Z kolei systemy logistyczne bez oczekiwania nie posiadają poczekalni i w przypadku, gdy wszystkie stanowiska transformacji są zajęte, przybyły transport dóbr materialnych wychodzi z systemu.

Można przyjąć, że systemy logistyczne posiadają określoną pojemność na którą składa się pojemność rejonu oczekiwania na proces transformacji oraz liczba stanowisk transformacji.

Ze względu na liczbę stanowisk można wyróżnić systemy logistyczne: jedno stanowiskowe (jednokanałowe) i wielostanowiskowe (wielokanałowe). W systemach jedno stanowiskowych proces transformacji jest realizowany pojedynczo, a w wielostanowiskowych jednocześnie wykonuje się proces transformacji na kilku obiektach. Systemy logistyczne charakteryzują także: zdolność przepustowa, dostępność oraz algorytm szeregowania zadań (dyscyplina, regulamin kolejki).

#### **4.3. Analiza modeli sieciowych w logistyce.**

W logistyce można zastosować wiele metod (modeli) sieciowych. Należą do nich przede wszystkim metody programowania sieciowego, harmonogramy optymalne Gantta, modele zagadnienia transportowego, lokalizacji obiektów logistycznych oraz wyboru najkrótszej drogi.

Metody programowania sieciowego można zastosować do projektowania, planowania realizacji oraz analizy i oceny systemów i procesów logistycznych. Są to przedsięwzięcia zmierzające do osiągnięcia określonego celu w skończonym przedziale czasu przy wykorzystaniu określonych zasobów oraz mające swój początek i koniec.

W modelu sieciowym wyróżnia się zdarzenia i czynności. Zdarzenia oznaczają stan, a czynności etap realizacji przedsięwzięcia. Zdarzenia przedstawia się graficznie za pomocą figur geometrycznych, a czynności strzałek, których kierunek wskazuje przebieg czynności w czasie.

Zależności pomiędzy zdarzeniami i czynnościami określają strukturę logiczną modelu systemu, która może być deterministyczna (DAN – ang. *Deterministic Analysis Network*), jeżeli wszystkie czynności przedstawione w sieci są realizowane w warunkach pewności lub indeterministyczno-probabilistyczna, stochastyczna (GAN – ang. *Generalized Analysis Network*), jeżeli czasy trwania części czynności są zmienną losową.

Do grupy najbardziej popularnych metod, które można zastosować w logistyce należą metody sieciowe o zdeterminowanej strukturze logicznej, a wśród nich: CPM (ang. *Critical Path Method*) i CPM-COST (ang. *Critical Path Method for Cost*) oraz PERT (ang. *Program Evaluation and Review Technique*) i CPM-COST (ang. *Program Evaluation and Review Technique for Cost*).

#### **4.4. Analiza modeli z wykorzystaniem sztucznej inteligencji**

Tworzenie klasycznych modeli matematycznych procesów logistycznych jest zagadnieniem niezwykle złożonym i nie zawsze możliwym do zrealizowania. Wykorzystanie klasycznej matematyki do zbudowania modeli procesów logistycznych wymaga uwzględnienia dużej liczby założeń, ograniczeń i uproszczeń, które mają na celu sprowadzenie ich do najprostszej postaci i przedstawieniu w formie równań liniowych. Stąd modele procesów logistycznych mogą w niewielkim stopniu odzwierciedlać rzeczywistość logistyczną i być mało przydatne do dokonywania za ich pomocą ocen będących podstawą do podejmowania decyzji. W przypadku podejścia klasycznego rozwiązywanie problemów realizowane jest za pomocą algorytmów czyli skończonego ciągu czynności.

Ponieważ nie wszystkie parametry uwzględniane w procesie tworzenia modeli logistycznych poddają się linearyzacji, wiele zmiennych ma charakter jakościowy a powiązania nie zawsze są jawne stąd modelowanie można oprzeć o techniki wywodzące się z sztucznej inteligencji. W ocenie autora do modelowania procesów logistycznych można wykorzystać przede wszystkim sztuczne sieci neuronowe. Za pomocą sieci neuronowych można opisywać zjawiska o charakterze nieprecyzyjnym i wieloznacznym, których nie potrafi ująć matematyka klasyczna i logika dwuwartościowa (Tadeusiewicz, 1993). Służą one do rozwiązywania złożonych problemów nie za pomocą algorytmów ale poprzez procesy analizy wiedzy.

Sztuczne sieci neuronowe mogą wspomagać podejmowanie decyzji w dziedzinie organizacji i zarządzania procesami logistycznymi, magazynowania, sterowania zapasami i transportu. W opinii autora najważniejszymi kryteriami oceny procesów logistycznych są: koszt, czas i jakość.

Spośród znanych struktur sztucznych sieci neuronowych do zbudowania modeli procesów logistycznych można wykorzystać jednowarstwowy perceptron jednokierunkowy z algorytmem iteracyjnego uczenia sieci (propagacji wstecznej). Architekturę sztucznej sieci neuronowej stanowią: wejście, warstwy neuronów przetwarzających dane oraz wyjście. Neutrony ułożone są w warstwach: wejściowej, ukrytych i wyjściowej. Połączone są one ze sobą na zasadzie każdy z każdym między warstwami, natomiast brak jest relacji pomiędzy neuronami w poszczególnych warstwach. O stopniu złożoności sztucznych sieci neuronowych

decyduje liczba warstw ukrytych i liczba neuronów. W przypadku wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do wspomagania procesów logistycznych najlepiej zastosować algorytm uczenia sieci z nauczycielem, który wymaga wskazania pożądaných wartości wyjściowej lub wyjściowych jako wzorcowych określających cel(e) procesu logistycznego. Mogą nimi być: minimalizacja kosztów i czasu oraz maksymalizacja jakości procesów logistycznych. Informacjami wejściowymi do sztucznej sieci neuronowej jest zbiór danych charakteryzujących proces logistyczny: transportu, magazynowania, zapasów, zarządzania, wyszkolenie i doświadczenie kierowników oraz wykonawców. Każdą z wymienionych grup informacji można scharakteryzować poprzez zbiór parametrów, które należy skwantyfikować. Wyjście z sztucznej sieci neuronowej stanowi ocena kosztów, czasu i jakości procesów logistycznych.

### **PODSUMOWANIE**

Warunkiem koniecznym racjonalnego zarządzania procesami logistycznymi w przedsiębiorstwie jest zastosowanie odpowiednich metod oceny. W ocenie autora dobre możliwości stwarza wykorzystanie do tego celu metod ilościowych. Umożliwiają one obiektywną ocenę podsystemów, procesów i działań logistycznych i dają obiektywną podstawę ich doskonalenia. Do oceny systemów i procesów logistycznych można zastosować przede wszystkim następujące metody i modele: metody wielokryterialnych analiz porównawczych (taksonomii numerycznej, AHP, Bellingera, ELECTRE III), modele masowej obsługi, modele sieciowe oraz sztucznej inteligencji. Zastosowanie zaproponowanych modeli oceny systemów i procesów logistycznych może stworzyć i uzasadnić kierunki i obszary doskonalenia ich funkcjonowania w przedsiębiorstwie.

### **LITERATURA**

- [1] Brzeziński M., Inżynieria systemów logistycznych, WAT, Warszawa 2015.
- [2] Brzeziński M., Modelowanie systemu remontu techniki wojsk lądowych, WAT, Warszawa 2010.
- [3] Roy B., Wielokryterialne wspomaganie decyzji, WNT, Warszawa 1990.
- [4] Tadeusiewicz R., Sieci neuronowe, Akademicka Oficyna Wydawnicza RM, Warszawa 1993.
- [5] Żak J., Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym. Rozprawa habilitacyjna, Politechnika Poznańska, Poznań 2005.