

Dariusz Dudek, Edyta Kulej-Dudek

Politechnika Częstochowska

REALIZACJA SYSTEMU OCENY EFEKTYWNOŚCI PROCESÓW LOGISTYCZNYCH NA BAZIE SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH

Streszczenie: W artykule scharakteryzowano koncepcję systemu oceny funkcjonowania procesów logistycznych. Zaproponowano możliwość zastosowania sztucznych sieci neuronowych do opisu przebiegu zdarzeń logistycznych. Szczególną uwagę zwrócono na dobór architektury sieci neuronowych oraz ich umiejętność odwzorowywania rzeczywistych przebiegów i zachowań systemu logistycznego. Zaprezentowano etapy budowy i istotę funkcjonowania systemu oceny efektywności procesów logistycznych.

Słowa kluczowe: logistyka, efektywność procesów logistycznych, sieci neuronowe.

1. Wstęp

We współczesnej gospodarce, zorientowanej na poszukiwanie nowych zdolności konkurencyjnych oraz zwiększenie efektywności realizowanych procesów logistycznych, istotną rolę odgrywa umiejętność stosowania metod skutecznego zarządzania przedsiębiorstwem. W różnych przedsiębiorstwach mogą występować odmienne potrzeby stosowania metod zarządzania, umożliwiającymi permanentny wzrost efektywności realizowanych procesów logistycznych. W zależności od specyfiki prowadzonej działalności przedsiębiorstwa powinny koncentrować się na indywidualnych rozwiązaniach dopasowanych do własnych potrzeb, rozwiązaniach umożliwiającymi osiągnięcie optymalnego rezultatu działania przedsiębiorstwa w postaci wysokiej efektywności przepływów informacyjnych i możliwie najniższych kosztów przy zachowaniu dotychczasowych standardów obsługi klienta. Uzasadnienie badania wyników działalności logistycznej w przedsiębiorstwie wynika z potrzeby racjonalizacji procesów logistycznych, do których niezbędne są pomiary i dokonane na ich podstawie oceny efektywności tych procesów. Racjonalność decyzji podejmowanych na drodze ciągłego doskonalenia wymaga analizy informacji pochodzących z różnych obszarów przedsiębiorstwa oraz rynku, a przede wszystkim nowatorskich rozwiązań umożliwiających ocenę efektywności realizowanych procesów logistycznych.

2. Modelowanie procesów logistycznych – zagadnienie prognozowania

Sprawne zarządzanie przedsiębiorstwem wymaga podejmowania trafnych decyzji, związanych ze znajomością przebiegów procesów logistycznych. Podstawą procesu decyzyjnego jest prognozowanie, które wymaga gromadzenia i przetwarzania odpowiednich informacji oraz stosowania właściwych metod i technik przetwarzania [Nowicka-Skowron 2004, s. 57]. Według M. Cieślaka, prognoza definiowana jest jako sąd o zajściu określonego zdarzenia w zadanym czasie z dokładnością do momentu lub czasu należącego do przyszłości [Cieślak 2001, s. 18].

Wybór właściwej metody lub narzędzia służącego do budowy prognozy jest uzależniony od wielu czynników. W małych przedsiębiorstwach decyzje mogą być podejmowane na zasadzie intuicji, co wiąże się z ryzykiem niepowodzenia przedsięwzięcia. Ryzyko to rośnie wprost proporcjonalnie do rozwoju przedsiębiorstwa, dlatego też w przypadku większych przedsiębiorstw decyzje powinny być podejmowane z uwzględnieniem wszystkich etapów procesu decyzyjnego – od analizy sytuacji decyzyjnej, przez wybór odpowiednich danych, wybór najlepszego wariantu, do oceny wdrażanej decyzji [Kiełtyka i in. 2000, s. 23-24].

Wiele problemów można rozwiązywać za pomocą metod bezpośrednich, eksperckich lub analitycznych. W przypadku metod analitycznych zakłada się, że istnieje model matematyczny systemu, dla którego można znaleźć rozwiązanie. Modele prognostyczne są stosowane zazwyczaj wtedy, gdy nie można lub bardzo trudno jest uzyskać rozwiązanie analityczne. Sytuacja taka ma miejsce w przypadku analizy procesów zachodzących w systemach logistycznych przedsiębiorstw. Stosując model prognostyczny, można na nim eksperymentować, sprawdzać wiele możliwych rozwiązań oraz wpływ poszczególnych elementów otoczenia [Nowicka-Skowron 2004, s. 77]. Dzięki rozwojowi nowoczesnych technologii informacyjnych metody i narzędzia prognostyczne stają się powszechnymi w użyciu instrumentami logistycznymi.

W zmieniających się warunkach działania wielu przedsiębiorstw i związanych z nimi systemów logistycznych pojawia się konieczność szybkiego dostosowywania istniejących procesów do nowych warunków funkcjonowania. Ze względu na ogromną liczbę danych zastosowanie tradycyjnych technik przetwarzania danych nie zawsze daje oczekiwany efekt, a często wręcz nie istnieją ani teoretyczne, ani praktyczne rozwiązania dla przedstawionych powyżej problemów. Jednakże rozwiązanie tych zagadnień może być znalezione, pod warunkiem że do obszaru rozwiązań dopuszczalnych zaimplementowane zostaną metody prognostyczne oparte na sztucznych sieciach neuronowych [Dudek 2009]. Inteligentne narzędzia i systemy prognostyczne stanowią bowiem źródło rozwiązywania złożonych zagadnień zarówno teoretycznych, jak i praktycznych, szczególnie dla mikro- i małych przedsiębiorstw, dla których proponowany system oceny efektywności procesów logistycznych może stanowić ważny instrument przewagi konkurencyjnej.

3. Założenia systemu oceny efektywności procesów logistycznych

Koncepcja systemu oceny efektywności procesów logistycznych (SOEL) zakłada określenie rzeczywistych przepływów informacyjnych za pomocą zaproponowanego zestawu wskaźników charakteryzujących procesy badanego przedsiębiorstwa. Dokonując pomiaru efektywności procesów, uwzględniono stopień spełnienia danego kryterium w odniesieniu do obowiązujących norm i standardów, jak również do celów stawianych przez badane przedsiębiorstwo.

Poszczególne etapy realizacji systemu SOEL obejmują m.in.:

- tworzenie zbioru danych empirycznych,
- dobór grupy badawczej,
- określenie kryteriów oceny efektywności procesów logistycznych,
- budowę tablic decyzyjnych – bazy reguł,
- implementację struktur sieci neuronowych realizujących przebiegi procesów logistycznych,
- określenie kluczowych wskaźników logistycznych,
- projektowanie bazy wiedzy,
- sformułowanie syntetycznej oceny efektywności procesów logistycznych.

4. Etapy realizacji systemu SOEL

Do pomiaru i oceny zjawisk zastosowano mierniki (tab. 1) odzwierciedlające stany rzeczywiste procesów oraz przepływ materiałów i informacji w systemach logistycznych. Na podstawie analizy literaturowej, dotyczącej problematyki efektywności procesów logistycznych przedsiębiorstw, dokonano wstępnej klasyfikacji czynników.

Do badań przyjęto 35 wskaźników umożliwiających ocenę systemu logistycznego przedsiębiorstw pod kątem terminowości, pewności dostaw, poziomu obsługi klienta, jakości oferowanych usług przy zachowaniu minimalnych kosztów logistycznych.

W badaniu procesów logistycznych istotnym zagadnieniem było wyodrębnienie i scharakteryzowanie wskaźników ujmujących rzeczywiste efekty do rzeczywistych nakładów. Ocena efektywności procesów logistycznych wymagała przyjęcia kryteriów, których wybór powinien być dokonany z punktu widzenia realizowanych strategicznych zadań łańcucha logistycznego. Tym samym do badania efektywności procesów logistycznych przyjęto:

- kryterium czasu przepływu materiałów i informacji,
- kryterium poziomu jakości usług i obsługi klienta,
- kryterium niezawodności działania.

Tabela 1. Zestaw wskaźników do oceny efektywności procesów logistycznych

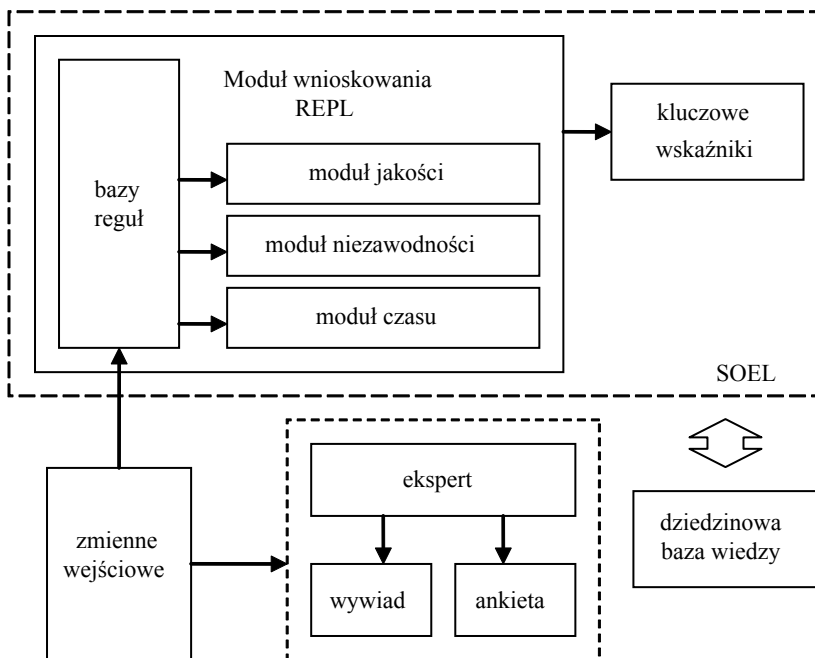
Określenie wskaźnika	Wskaźnik logistyczny	Wzór obliczenia wskaźnika	J. m.
Procentowy udział w kosztach przedsiębiorstwa	w1	udział kosztów transportu własnego w kosztach przedsiębiorstwa	%
	w2	udział kosztów transportu obcego w kosztach przedsiębiorstwa	%
	w3	udział kosztów magazynowania w kosztach przedsiębiorstwa	%
	w4	udział kosztów administracji w kosztach przedsiębiorstwa	%
	w5	udział kosztów kapitału w zapasach w kosztach przedsiębiorstwa	%
	w6	udział kosztów zakupów w kosztach przedsiębiorstwa	%
	w7	udział kosztów sprzedaży w kosztach przedsiębiorstwa	%
Procentowy udział poszczególnych wielkości	w8	wartość reklamowanych usług do całkowitej wartości usług	%
	w9	liczba reklamowanych usług do całkowitej liczby usług	%
	w10	wartość terminowo wykonanych usług do całkowitej wartości usług	%
	w11	liczba terminowo wykonanych usług do całkowitej liczby usług	%
	w12	liczba usług z opóźnieniem do całkowitej liczby usług	%
	w13	liczba usług zrealizowanych do liczby usług ogółem	%
	w14	liczba usług zrealizowanych przed czasem do całkowitej liczby usług	%
	w15	liczba faktur błędnie wystawionych do liczby faktur ogółem	%
	w16	liczba nieudzielonych informacji o statusie usługi do liczby informacji z tego zakresu ogółem	%
Udział w liczbie zleceń składanych u dostawcy	w17	osobiście	%
	w18	połączenie telefoniczne lub faksowe	%
	w19	połączenie za pośrednictwem sieci Internet	%
	w20	połączenie przez EDI	%
Udział w wartości zleceń składanych u dostawcy	w21	osobiście	%
	w22	połączenie telefoniczne lub faksowe	%
	w23	połączenie za pośrednictwem sieci Internet	%
	w24	połączenie przez EDI	%
Udział w liczbie zleceń składanych przez odbiorcę	w25	osobiście	%
	w26	połączenie telefoniczne lub faksowe	%
	w27	połączenie za pośrednictwem sieci Internet	%
	w28	połączenie przez EDI	%
Udział w wartości zleceń składanych przez odbiorcę	w29	osobiście	%
	w30	połączenie telefoniczne lub faksowe	%
	w31	połączenie za pośrednictwem sieci Internet	%
	w32	połączenie przez EDI	%
Czas realizacji usługi	w33	min. czas od złożenia zamówienia do realizacji usługi dla klienta	dni
	w34	maks. czas od złożenia zamówienia do realizacji usługi dla klienta	dni
	w35	średni czas od złożenia zamówienia do realizacji usługi dla klienta	dni

Źródło: opracowanie własne.

Kryteria jakości, niezawodności i czasu są miarą bezwzględną określającą stopień realizacji wskaźników logistycznych, których prawidłowy dobór warunkował uzyskanie obiektywnej, konkretnej i przejrzystej oceny analizowanych procesów logistycznych.

4.1. Implementacja sieci neuronowych do budowy systemu SOEL

Ocenę stopnia spełnienia poszczególnych kryteriów scharakteryzowano, stosując rozmytą metodę Delphi, stanowiącą uogólnienie klasycznej metody Delphi. Wartości liczbowe zastąpiono liczbami rozmytymi, gdzie zamiast średniej rzeczywistej w analizie wykorzystano średnią rozmytą. Dane pozyskane od ekspertów, za pomocą rozmytej metody Delphi, dostarczyły niezbędnej wiedzy na temat opisu zależności badanych zmiennych i stanowiły podstawę do budowy algorytmów opisujących przebiegi procesów logistycznych w ramach Systemu Oceny Efektywności Logistycznej (rys. 1). Budowa algorytmów odzwierciedlających zachowania procesów logistycznych wymagała określenia mechanizmów systemowych opisujących przebiegi zdarzeń logistycznych badanych przedsiębiorstw. Ze względu na znaczną liczbę danych oraz nieliniową dynamikę zachowań systemu logistycznego zastosowano sztuczne sieci neuronowe. Badania symulacyjne przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu Statistica Neural Networks (SNN). Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych pozwoliło na pozyskanie wiedzy w sytuacjach niepewnych, gdzie brak wiedzy



Rys. 1. Model SOEL metody OcEnaPL

Źródło: opracowanie własne.

pełnej uniemożliwił otrzymanie rozwiązania. Ponadto nieliniowy charakter przetwarzania w jednostkach sieci neuronowej pozwalał na realizację przez nią dowolnego odwzorowania między zmiennymi wejściowymi a wyjściowymi, bez zakłada-

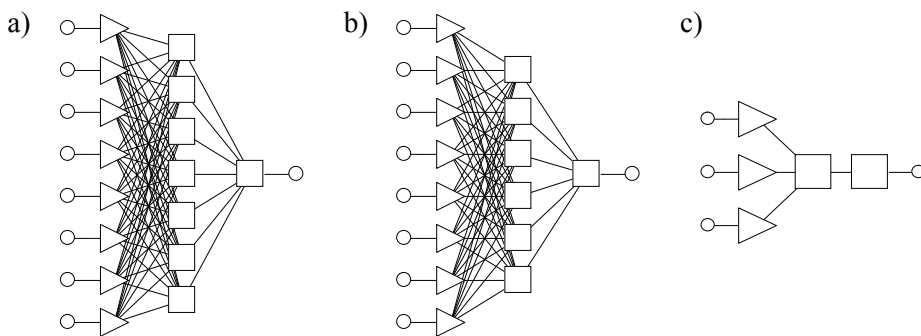
nia z góry formy tej zależności. Implementacja sieci neuronowych wymagała znalezienia optymalnych struktur sieci neuronowych realizujących kryteria jakości, niezawodności i czasu, które umożliwią opis zachowań procesów logistycznych.

Przystępując do budowy prognoz z zastosowaniem aplikacji Statistica Neural Network (SNN), zebrane obserwacje podzielono na trzy zbiory. Pierwszy z nich wykorzystano do uczenia sieci zależności pomiędzy zmiennymi objaśniającymi a zmiennymi wyjściowymi – zbiór uczący. Drugi zbiór umożliwił zatrzymanie procesu uczenia w momencie, gdy sieć traci zdolności do generalizacji – zbiór walidacyjny. Trzeci ze zbiorów – zbiór testujący – generował ocenę jakości sieci. Ustalono, że liczebność poszczególnych zbiorów będzie dobrana w sposób doświadczalny według następujących założeń:

- podział zbiorów według proporcji 1-1-1,
- podział zbiorów według proporcji 2-1-1,
- podział zbiorów według proporcji 3-1-1.

Korzystając z aplikacji SNN, dokonano doboru architektury sieci neuronowej dla realizacji każdego modułu SOEL spośród sieci liniowej realizującej uogólnioną regresję, o radialnych funkcjach bazowych oraz typu perceptron wielowarstwowy MLP (*Multilayer Perceptron*). Najlepszą strukturą sieci okazała się sieć MLP, gdzie zbiory uczący, walidacyjny i testujący dobrano eksperymentalnie ze względu na najlepszą jakość odwzorowania w proporcji 3:1:1.

Wyodrębnienie czynników mających istotny wpływ na funkcjonowanie łańcucha logistycznego względem przyjętych kryteriów oceny zostało przeprowadzone na podstawie metod doboru cech. Najefektywniejszą metodą doboru (redukcji) zmiennych wejściowych okazała się analiza wrażliwości dla wszystkich trzech omawianych kryteriów oceny. Zbudowane na jej podstawie sieci (rys. 2) zostały zaimplementowane do systemu SOEL w postaci algorytmów jako moduły: jakości, niezawodności i czasu.



Rys. 2. Optymalne struktury sieci neuronowych: a) kryterium jakości, b) kryterium niezawodności, c) kryterium czasu

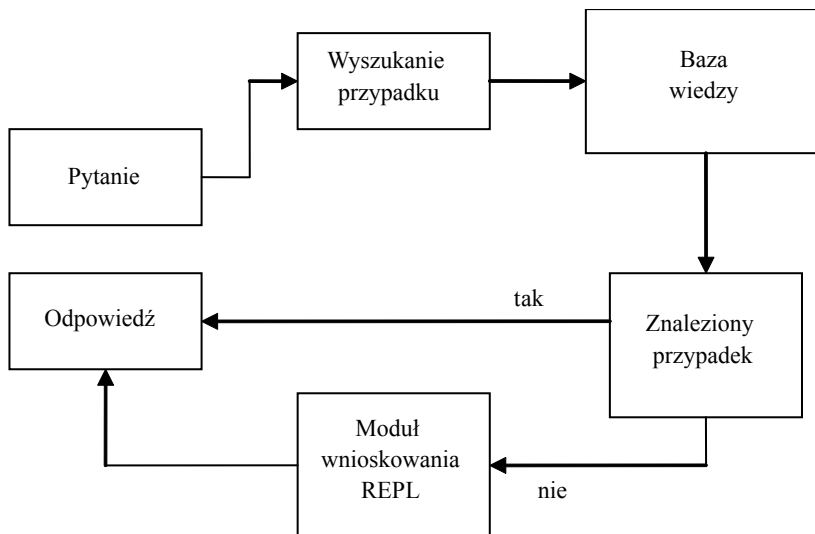
Źródło: opracowanie własne.

Struktury tych sieci zaimplementowano w module REPL (moduł realizujący efektywność procesów logistycznych). Realizacja każdego modułu miała na celu wydobycie charakteru cech badanych procesów logistycznych. Przeprowadzona analiza wrażliwości umożliwiła określenie optymalnych struktur sieci neuronowych oraz kluczowych czynników zapewniających właściwą realizację procesów zachodzących w przedsiębiorstwie. Wskaźniki o małym stopniu użyteczności informacji zostały wyeliminowane z zestawu wskaźników logistycznych, w wyniku czego otrzymano zestaw 17 kluczowych wskaźników określających efektywność procesów logistycznych ($w_1, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7, w_{11}, w_{12}, w_{19}, w_{21}, w_{22}, w_{23}, w_{26}, w_{31}, w_{33}, w_{34}, w_{35}$).

Moduł jakości zbudowany został na bazie sieci MLP jako 8-elementowa przestrzeń zmiennych wejściowych. Moduł niezawodności realizowany przez sieć perceptron wielowarstwowy MLP 8:8-6-1:1 składał się również z 8 zmiennych wejściowych. Moduł czasu zbudowany został na bazie sieci MLP 3:3-1-1:1.

4.2. Istota działania systemu SOEL

Otrzymany zestaw kluczowych wskaźników logistycznych został umieszczony w bazie wiedzy. Baza wiedzy tworzyła model zdarzeniowy zawierający wzorcowe przebiegi procesów logistycznych. Informacje w niej zawarte stanowiły źródła wiedzy dla nowych, nieprezentowanych wcześniej przypadków. W sytuacji braku rozwiązania utożsamianego z brakiem wzorca w bazie wiedzy generowana była odpowiedź przez moduł wnioskowania REPL. Moduł ten, składający się z inteligentnych



Rys. 3. Schemat działania SOEL

Źródło: opracowanie własne.

mechanizmów przetwarzania danych, umożliwia podanie oceny punktowej względem stopnia spełnienia kryterium jakości, niezawodności i czasu. Baza wiedzy w swej koncepcyjnej formie współdziała z systemem SOEL.

Sformułowanie oceny syntetycznej determinującej stopień spełnienia przyjętych kryteriów związane było z realizacją modułu REPL zaimplementowanego w systemie SOEL (rys. 3).

Dla każdego z kryteriów przyporządkowano odpowiadające im wagi (rangi), uzyskane na podstawie opinii ekspertów w trakcie prowadzonych badań (tab. 2). Stopień spełnienia przyjętych kryteriów oceny był determinowany wynikami uzyskanymi za pomocą rozmytej metody Delphi.

Tabela 2. Ranga (skala ważności) poszczególnych kryteriów oceny

	Kryterium jakości	Kryterium niezawodności	Kryterium czasu
Ranga	0,5	0,2	0,3

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie rzeczywistych przebiegów i zachowań systemu logistycznego sieci neuronowe nabyły umiejętność ich odwzorowywania. Tak nauczone sieci potrafiły odtworzyć zachowania systemu dla nowych przypadków, umożliwiając tym samym sformułowanie oceny efektywności procesów logistycznych. Zastosowanie sieci neuronowych związane było z ich zdolnością do aproksymacji dowolnych funkcji nieliniowych, co jednocześnie uzasadnia ideę implementacji sieci neuronowych do odwzorowania dynamicznych i nieliniowych procesów logistycznych.

Syntetyczna ocena efektywności uwzględnia ocenę konkretnego rozwiązania jako iloczyn liczby punktów względem stopnia spełnienia danego kryterium i odpowiadającej mu rangi (wagi kryterium). Właściwa ranga jest dodawana w trakcie realizacji poszczególnych algorytmów modułu jakości, niezawodności i czasu, zaimplementowanych w SOEL.

5. Wnioski

Złożoność i zmienność współczesnych systemów logistycznych powoduje, iż tradycyjne systemy pomiaru nie spełniają swych pierwotnych funkcji, co skłoniło do poszukiwań nowych, bardziej efektywnych systemów pomiaru odzwierciedlających specyfikę i cele badanych przedsiębiorstw. Wybór problematyki ma związek z dynamiką zmian otoczenia przedsiębiorstw, gdzie postępująca globalizacja, wzrost konkurencyjności oraz rozwój nowoczesnych narzędzi informatycznych skłaniają do poszukiwania nowatorskich koncepcji pomiaru wyników logistyki.

Zastosowanie inteligentnych narzędzi prognostycznych podyktowane było nieliniową dynamiką zachowań systemu logistycznego, zdolnością przetwarzania równoległego informacji, samoadaptacją w dynamicznym środowisku oraz umiejętnością samouczenia i samoorganizacji. Implementacja sztucznych sieci neuronowych umożliwiła pozyskiwanie wiedzy w sytuacjach niepewnych, gdzie brak wiedzy pełnej wykluczał otrzymanie rozwiązania, gdyż nawet w przypadku braku niektórych istotnych informacji system jest w stanie generować odpowiedź z dużą dokładnością.

Zastosowanie sieci neuronowych umożliwiło zastosowanie metody doboru cech, polegającej na wyodrębnieniu czynników mających istotny wpływ na funkcjonowanie łańcucha logistycznego względem przyjętych kryteriów oceny. Wymiernym efektem było również usystematyzowanie zestawu wskaźników logistycznych w celu optymalizacji procedur przepływu informacji. Tym samym do modelowania procesów logistycznych można było zastosować istotne czynniki z punktu widzenia przyjętych kryteriów oceny systemu logistycznego, co pozwoliło skrócić czas niezbędny do wykonania pomiarów i podjęcia właściwych decyzji.

Zaprezentowany system pomiaru i oceny funkcjonowania procesów logistycznych pozwala stale monitorować zachodzące zdarzenia logistyczne i natychmiast reagować na zmieniające się warunki otoczenia. Koncepcja systemu bazująca na algorytmach realizowanych za pomocą sztucznych sieci neuronowych pozwala generować całkowicie nowe rozwiązania i zapisywać przypadki uczące w bazie wiedzy, przez co system stale adaptuje się do nowych warunków otoczenia systemu.

Literatura

- Cieślak M., *Prognozowanie gospodarcze*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- Dudek D., *Dobór optymalnych struktur sieci neuronowych w modelowaniu procesów logistycznych*, [w:] *Multimedia w biznesie i zarządzaniu*, red. L. Kiełtyka, Difin SA, Warszawa 2009.
- Kiełtyka L., Smolań K., Sokołowski A., Nocuń R., *Komputerowe wspomaganie zarządzania przedsiębiorstwem*, [w:] *Informatyka w zarządzaniu*, red. L. Kiełtyka, Wydawnictwo Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2000.
- Nowicka-Skowron M., *Prognozowanie i modelowanie systemów logistycznych w przemyśle mleczarskim*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004.

THE IMPLEMENTATION OF THE SYSTEM OF EFFICIENCY EVALUATION OF LOGISTICS PROCESSES BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Summary: In this paper, the concept of the evaluation system of logistics processes functioning is characterized. Possibilities of artificial neural networks usage in order to describe the progress of logistics events are proposed. The selection of neural networks architecture and their ability to match the real progress and conduction of the logistics system are highlighted. The construction stages and operation substance of the efficiency evaluation system considering logistics processes are presented.