

JASTRIEBOW Aleksander^{1,2}
PIOTROWSKA Katarzyna³

Modelowanie ekspertowych systemów logistycznych opartych na relacyjnych mapach kognitywnych

Ekspertowy system logistyczny, relacyjna mapa kognitywna, wielokrokowy algorytm uczenia, charakterystyki systemowe

Streszczenie

Praca poświęcona jest modelowaniu ekspertowych systemów logistycznych opartych na relacyjnych mapach kognitywnych. Opisano zasadę działania relacyjnej mapy kognitywnej oraz jej zastosowanie w systemach ekspertowych. Opracowano model logistycznego systemu ekspertowego opartego na mapie kognitywnej, wspomagającego planowanie i kontrolę funkcjonowania przedsiębiorstwa logistycznego. Przedstawiono wybrane wyniki działania systemu.

MODELING OF LOGISTICS EXPERT SYSTEMS BASED ON RELATIONAL COGNITIVE MAPS

Abstract

This work is devoted to modeling of logistics expert systems based on relational cognitive maps. Principle of working of relational cognitive map and its application in expert systems was described. The model of logistics expert system based on cognitive map, supporting planning and control of the logistics company functioning was developed. Selected results of system working were presented.

1. WSTĘP

Praca poświęcona jest zastosowaniu relacyjnych map kognitywnych w modelowaniu ekspertowych systemów logistycznych. Mapa kognitywna to uniwersalne narzędzie wykorzystujące wiedzę oraz doświadczenie do analizy i rozwiązywania złożonych problemów.

Systemy ekspertowe oparte na mapach kognitywnych znajdują zastosowanie w numerycznej predykcji szeregów czasowych [2], w systemach monitorowania decyzyjnego [3] a także w złożonych systemach kontroli procesów [8]. Mapa kognitywna to również efektywne narzędzie do modelowania systemów wspomagania podejmowania decyzji, m.in. w dziedzinie bezpieczeństwa sieci [11], w transporcie drogowym [9] oraz w rozwiązywaniu społeczno – ekonomicznych problemów [6].

W pracy opracowano model ekspertowego systemu logistycznego opartego na ostrej mapie kognitywnej. Rozdział 2 zawiera opis oraz zasadę działania ekspertowego systemu opartego na mapach kognitywnych. W rozdziale 3 opisano logistyczne systemy ekspertowe oraz przedstawiono wybrane wyniki działania systemu opartego na mapie kognitywnej.

2. EKSPERTOWE SYSTEMY OPARTE NA RELACYJNYCH MAPACH KOGNITYWNYCH

Bazowym elementem analizowanego systemu ekspertowego jest relacyjna mapa kognitywna, którą przedstawiono poniżej. Dalej podobne struktury ekspertowe będą nazywane kognitywnymi systemami ekspertowymi (KSE).

2.1 Relacyjna mapa kognitywna

Relacyjna mapa kognitywna to wydajne narzędzie, obrazujące czynniki istotne dla badanego zjawiska oraz relacje między nimi. Podstawę budowy mapy kognitywnej stanowi graf skierowany postaci [5,9]:

$$\langle X, R \rangle \quad (1)$$

gdzie: $X = [X_1, \dots, X_n]^T$ – wartości czynników mapy; $R = \{r_{j,i}\}$ – macierz relacji pomiędzy czynnikami; $r_{j,i}$ – liczba z przedziału $[-1, 1]$; $i, j = 1, \dots, n$; n – liczba czynników.

Dymanika mapy kognitywnej może być wybrana w postaci nieliniowej:

¹ Politechnika Radomska, Wydział Nauczycielski; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.

Tel: + 48 48 361-78-49, 361-78-50, E-mail: aleksander.jastriebow@pr.radom.pl

² Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki; 25-314 Kielce; al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7.

Tel: + 48 41 342-42-39, E-mail: a.jastriebow@tu.kielce.pl

³ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki; 25-314 Kielce; al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7.

Tel: + 48 41 342-42-06, E-mail: k.piotrowska@tu.kielce.pl

$$X_i(t+1) = F \left(X_i(t) + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n X_j(t) \cdot r_{j,i}(t) \right) \quad (2)$$

gdzie: $t=0, \dots, T$; t – dyskretny czas; F – sigmoidalna funkcja stabilizacyjna.

Mapy kognitywne jako systemy inteligentne posiadają zdolność uczenia macierzy relacji. W pracy zastosowano wielokrokowy algorytm uczenia nadzorowanego, który modyfikuje elementy macierzy relacji w kierunku największego spadku funkcji błędu opisanej zależnością [3,4]:

$$J(t) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (X_i(t) - Z_i(t))^2 \quad (3)$$

gdzie: X_i – wartość i -tego czynnika; Z_i – zadana wartość i -tego czynnika.

Uczenie macierzy relacji odbywa się według następującej zależności:

$$r_{j,i}(t+1) = r_{j,i}(t) + \beta_0 \cdot \eta_0(t) \cdot (X_i(t) - Z_i(t)) \cdot y_{j,i}(t) + \beta_1 \cdot \eta_1(t) \cdot (X_i(t-1) - Z_i(t-1)) \cdot y_{j,i}(t-1) \quad (4)$$

gdzie: $\beta_0, \eta_0, \beta_1, \eta_1$ – współczynniki uczenia mapy; $X_i(0), X_i(-1), Z_i(0), Z_i(-1), y_{j,i}(0), y_{j,i}(-1)$ – wartości zadane, w szczególności mogą być zerowe. Współczynniki uczenia muszą spełniać następujące warunki:

$$\eta_0(t) = \frac{1}{\lambda_0 + t} \quad (5)$$

$$\eta_1(t) = \frac{1}{\lambda_1 + t} \quad (6)$$

$$\beta_0, \beta_1 > 0 \quad (7)$$

gdzie: λ_0, λ_1 – stałe dobierane doświadczalnie.

Funkcja czułości $y_{j,i}(t)$ opisana jest równaniem:

$$y_{j,i}(t+1) = (y_{j,i}(t) + X_j(t)) \cdot F' \left(X_i(t) + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n X_j(t) \cdot r_{j,i}(t) \right) \quad (8)$$

gdzie: $F'(x)$ – pochodna sigmoidalnej funkcji stabilizacyjnej.

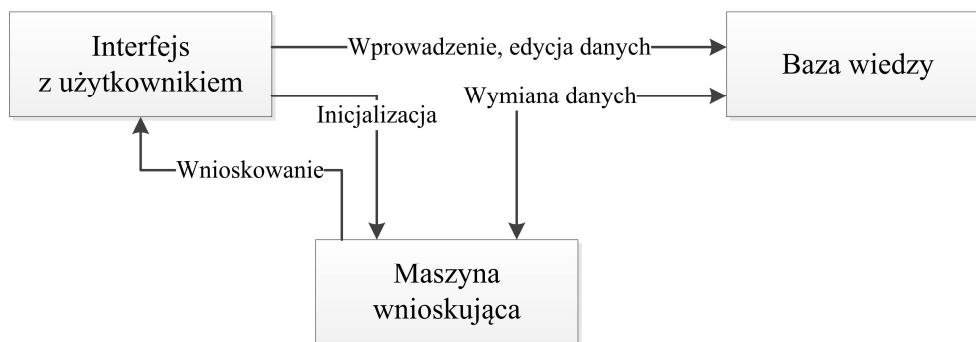
Kryterium stopu dla wielokrokowego algorytmu uczenia nadzorowanego opisuje zależność:

$$J(t) \leq e \quad (9)$$

gdzie: e – zadany poziom tolerancji błędu.

2.2 Kognitywny system ekspertowy

System ekspertowy składa się z trzech podstawowych bloków: bazy wiedzy, maszyny wnioskującej oraz interfejsu z użytkownikiem. Schemat blokowy systemu ekspertowego przedstawia rys.1 [7].



Rys.1. Schemat blokowy systemu ekspertowego

Mapa kognitywna odgrywa w systemie ekspertowym rolę zarówno bazy wiedzy, jak i maszyny wnioskującej, przy czym bazę wiedzy reprezentuje zbiór czynników mapy wraz z macierzą relacji, a wnioski związane jest z działaniem mapy. Proces tworzenia bazy wiedzy oparty jest na określeniu czynników istotnych dla badanego zjawiska na podstawie wiedzy eksperckiej, określeniu przyczynowo-skutkowych powiązań między czynnikami (macierz relacji) oraz wyborze czynników wyjściowych (decydujących) dla systemu. Baza wiedzy może być edytowana w czasie działania systemu przez eksperta lub w procesie uczenia macierzy relacji. Wnioski odbywa się na podstawie analizy dynamiki mapy kognitywnej, wizualizacji problemu oraz oceny charakterystyk systemowych.

Charakterystyki systemowe umożliwiają analizę struktury mapy kognitywnej oraz interakcji poszczególnych czynników. W pracy analizowano konsonans wpływu i -tego czynnika na system (C_i), konsonans wpływu systemu na j -ty czynnik (C_j), dysonans wpływu i -tego czynnika na system (D_i), dysonans wpływu systemu na j -ty czynnik (D_j), wpływ i -tego czynnika na system (P_i) oraz wpływ systemu na j -ty czynnik (P_j) [1,10].

Efektywność zastosowania kognitywnych systemów ekspertowych wynika z [1,12]:

- możliwości rozwiązywania złożonych problemów,
- możliwości dobrej wizualizacji analizowanego zjawiska,
- integralności z metodami oceny rezultatów analizy,
- braku konieczności wstępnej specyfikacji czynników i powiązań między nimi.

3. LOGISTYCZNY KSE

Niniejszy rozdział zawiera opis ekspertowych systemów logistycznych oraz implementację logistycznego kognitywnego systemu ekspertowego.

3.1 Ekspertowe systemy logistyczne

Logistyka odpowiada za planowanie, realizację i kontrolę przestrzenno-czasowych transformacji produktów oraz zapewnienie, by odbiorca otrzymał od dostawcy odpowiedni produkt we właściwym czasie. Zadaniem systemów logistycznych jest za organizacja i koordynacja przepływu produktów i materiałów oraz odpowiadających im informacjom.

Do zarządzania strategicznego procesami logistycznymi nie wystarcza już praktyczna wiedza i wyczucie człowieka. Coraz częściej w logistyce stosuje się systemy ekspertowe, które na podstawie bazy wiedzy wprowadzonej przez ekspertów oraz maszyny wnioskującej wspomagają kontrolę i podejmowanie decyzji w przedsiębiorstwach. Do podstawowych zadań ekspertowych systemów logistycznych należą [13]:

- przyspieszenie procesów logistycznych,
- minimalizacja kosztów,
- zwiększenie jakości dostaw,
- zwiększenie zdolności produkcyjnej,
- ukształtowanie odpowiedniego poziomu rentowności przedsiębiorstwa,
- koordynacja działania przedsiębiorstwa.

Poniżej pokazano przykład ekspertowego systemu logistycznego opartego na relacyjnej mapie kognitywnej.

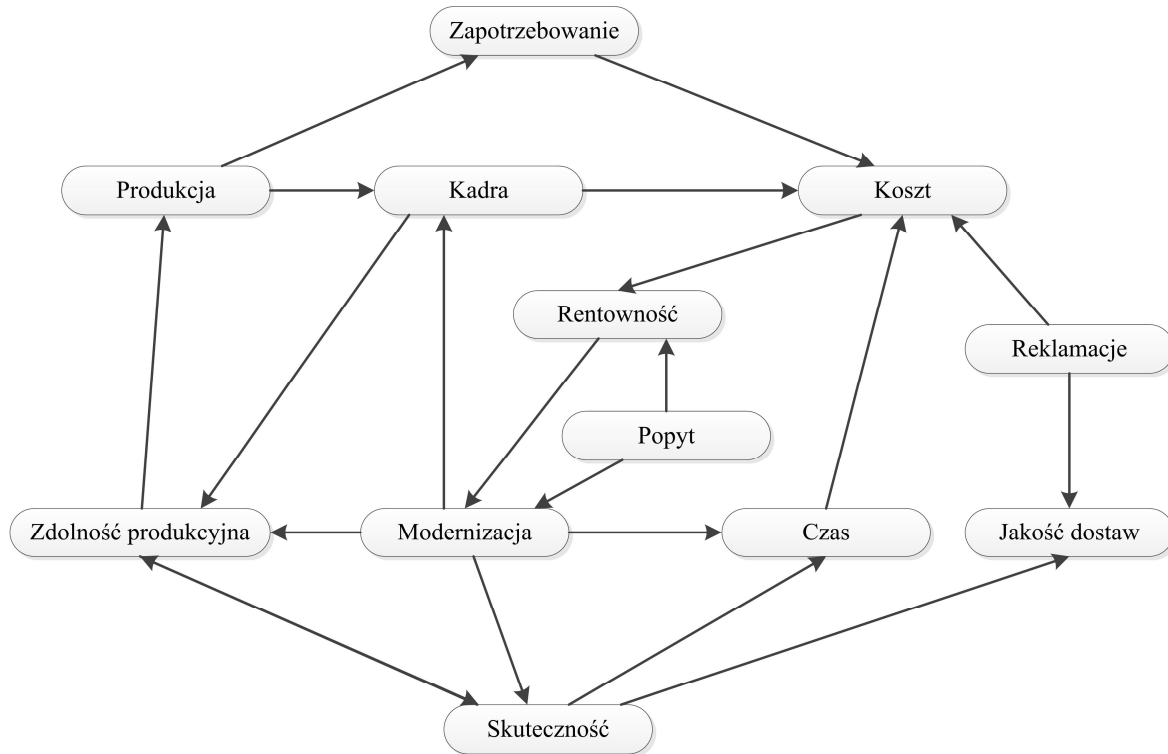
3.2 Implementacja ekspertowego systemu logistycznego opartego na mapie kognitywnej

Zaimplementowano logistyczny KSE przy pomocy aplikacji ISEMK [8]. Bazę wiedzy wprowadzono w postaci mapy kognitywnej o następujących czynnikach:

- X_1 – Czas realizacji,
- X_2 – Jakość dostaw,
- X_3 – Kadra,
- X_4 – Koszt,
- X_5 – Modernizacja,

- X_6 – Popyt,
- X_7 – Produkcja,
- X_8 – Reklamacje,
- X_9 – Rentowność,
- X_{10} – Skuteczność,
- X_{11} – Zapotrzebowanie,
- X_{12} – Zdolność produkcyjna.

Rys.2. przedstawia schemat zaimplementowanej mapy kognitywnej.



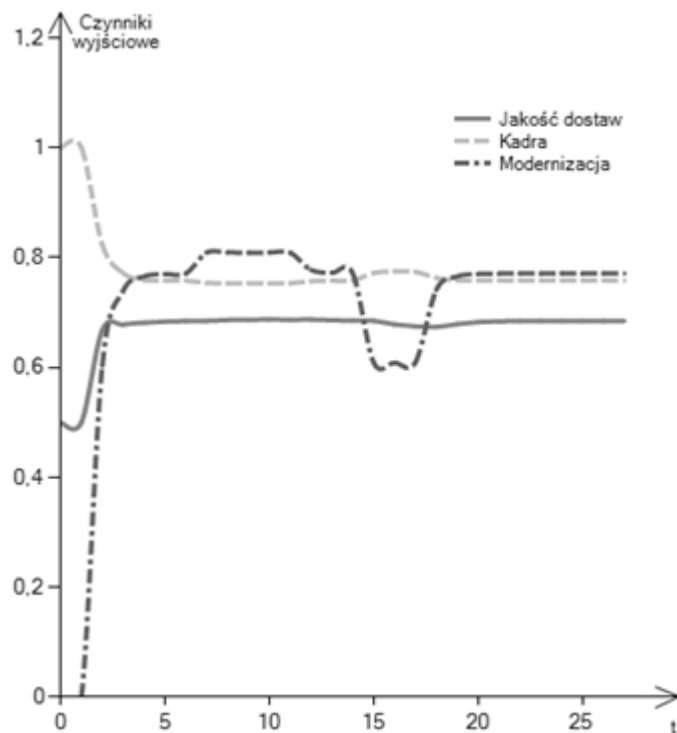
Rys.2. Schemat zaimplementowanej mapy

Rys.3. przedstawia wprowadzoną do systemu ISEMK macierz relacji.

	Czas realizacji	Jakość dostaw	Kadra	Koszt	Modernizacja	Popyt	Produkcja	Reklamacje	Rentowność	Skuteczność	Zapotrzebowanie	Zdolność produkcyjna
Czas realizacji	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Jakość dostaw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kadra	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0,3
Koszt	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,5	0	0	0
Modernizacja	-0,4	0	-0,1	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0,9
Popyt	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0,5	0	0	0
Produkcja	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0
Reklamacje	0	-0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Rentowność	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0
Skuteczność	-0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3
Zapotrzebowanie	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Zdolność produkcyjna	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0,5	0	0

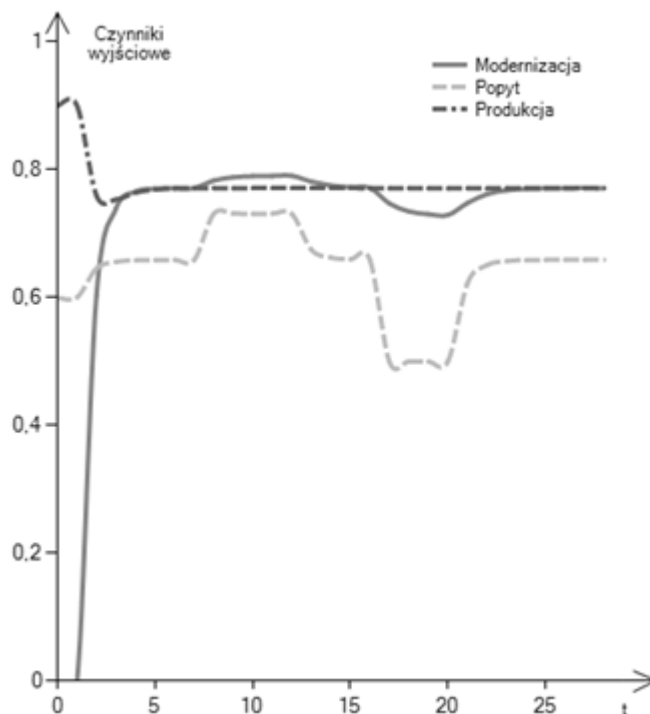
Rys.3. Zainicjalizowana macierz relacji

Jako czynniki wyjściowe, których przebiegi przeanalizowano w kolejnym etapie symulacji, wybrano: Modernizację, Jakość dostawy oraz Kadre. Rys.4. przedstawia zmiany czasowe wartości poszczególnych czynników wyjściowych.



Rys.4. Zmiany czasowe wartości czynników: Modernizacja, Kadra, Jakość dostaw

Wzrost wartości czynnika Modernizacja nie wpłynął znacząco na pozostałe czynniki wyjściowe, spadek wartości czynnika Modernizacja w niewielkim stopniu spowodował wzrost wartości czynnika Kadra oraz spadek wartości czynnika Jakość dostaw. W kolejnym kroku symulacji jako czynniki wyjściowe wybrano: Modernizację, Popyt oraz Produkcję. Rys.5. przedstawia zmiany czasowe wartości poszczególnych czynników wyjściowych.



Rys.5. Zmiany czasowe wartości czynników: Modernizacja, Popyt, Produkcja

Wzrost wartości czynnika Popyt spowodował wzrost wartości czynnika Modernizacja, jego spadek zaskutkowało spadkiem wartości Modernizacji. Zmiany czynników Modernizacja i Popyt nie wpłynęły na Produkcję.

Rys.6. przedstawia charakterystyki systemowe dla zainicjalizowanej mapy kognitywnej.

	Ci	Cj	Di	Dj	Pi	Pj
Czas realizacji	0,707	0,698	0,293	0,302	-0,012	-0,106
Jakość dostaw	0	0,738	1	0,262	0	0,061
Kadra	0,495	0,538	0,505	0,462	0,072	0,116
Koszt	0,636	0,462	0,364	0,538	-0,103	0,167
Modernizacja	0,494	0,666	0,506	0,334	0,178	-0,003
Popyt	0,642	0	0,358	1	0,113	0
Produkcja	0,447	0,733	0,553	0,267	0,14	0,118
Reklamacje	0,716	0	0,284	1	-0,052	0
Rentowność	0,565	0,595	0,435	0,405	0,128	-0,084
Skuteczność	0,668	0,72	0,332	0,28	0,059	0,129
Zapotrzebowanie	0,707	0,788	0,293	0,212	-0,012	0,097
Zdolność produkcyjna	0,559	0,697	0,441	0,303	0,147	0,164

Rys.6. Charakterystyki systemowe zainicjalizowanej mapy

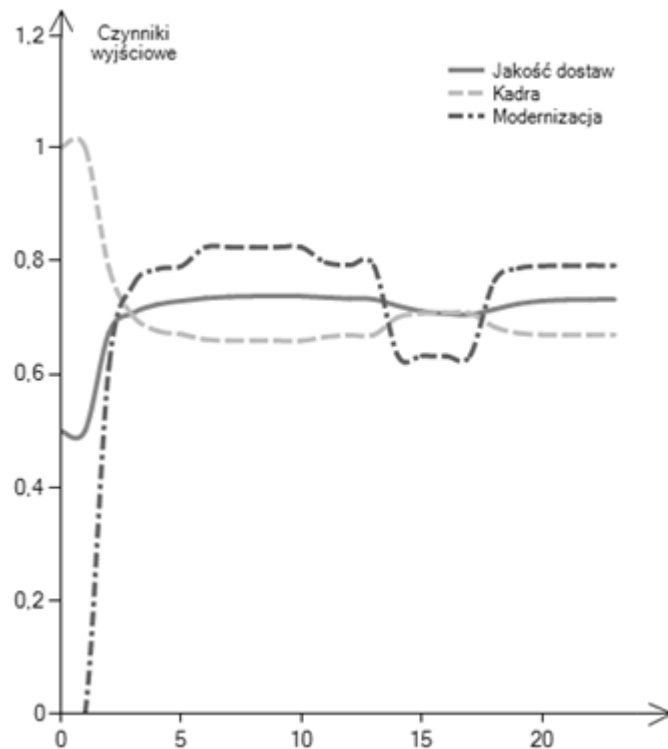
Z otrzymanych charakterystyk wynika, że system nie wpływa na czynniki: Reklamacje oraz Popyt, natomiast czynnik Jakość dostawy nie ma wpływu na zaimplementowany system. Najbardziej wzmacnia system Modernizacja (0,178), najbardziej osłabia Koszt (-0,103).

W kolejnym etapie symulacji douczono macierz relacji wielokrokovym algorytmem nadzorowanym dla współczynników uczenia: $\beta_0=10$, $\eta_0=10$, $\beta_1=10$, $\eta_1=10$, $e=0,001$. W wyniku uczenia baza wiedzy została zmodyfikowana. Rys.7. przedstawia nauczoną macierz relacji.

	Czas realizacji	Jakość dostaw	Kadra	Koszt	Modernizacja	Popyt	Produkcja	Reklamacje	Rentowność	Skuteczność	Zapotrzebowanie	Zdolność produkcyjna
Czas realizacji	0	0,0035	-0,0368	0,4991	-0,0006	0	0,0228	-0,0674	0,0377	-0,0002	-0,0001	-0,0004
Jakość dostaw	-0,0001	0	-0,0412	-0,0008	-0,0018	0	0,0254	-0,0667	0,0379	-0,0002	-0,0006	-0,0005
Kadra	-0,0003	0,0047	0	0,3989	-0,001	0	0,0315	-0,0863	0,0566	-0,0002	-0,0002	0,2995
Koszt	-0,0003	0,0051	-0,0483	0	-0,0016	0	0,031	-0,0808	-0,4474	-0,0002	-0,0005	-0,0006
Modernizacja	-0,4002	0,0734	-0,1801	-0,0008	0	0	0,0184	-0,0446	0,0213	0,4998	-0,0008	0,8995
Popyt	-0,0002	0,0039	-0,0418	-0,0009	0,2985	0	0,0762	-0,0717	0,5408	-0,0002	-0,0005	-0,0005
Produkcja	-0,0002	0,0045	0,5553	-0,0009	-0,0017	0	0	-0,0806	0,05	-0,0002	0,4995	-0,0005
Reklamacje	-0,0007	-0,494	-0,0412	0,4987	-0,0006	0	0,0168	0	0,0238	-0,0001	-0,0001	-0,0005
Rentowność	0	0,0031	-0,0383	-0,0007	0,4979	0	0,0254	-0,0651	0	-0,0003	-0,0007	-0,0005
Skuteczność	-0,5002	0,5041	-0,0436	-0,0009	-0,002	0	0,025	-0,0616	0,0359	0	-0,0007	0,2995
Zapotrzebowanie	-0,0002	0,0044	-0,045	0,4991	-0,0016	0	0,0287	-0,0774	0,0468	-0,0002	0	-0,0005
Zdolność produkcyjna	-0,0002	0,0045	-0,0454	-0,0009	-0,0019	0	0,527	-0,0666	0,041	0,4998	-0,0006	0

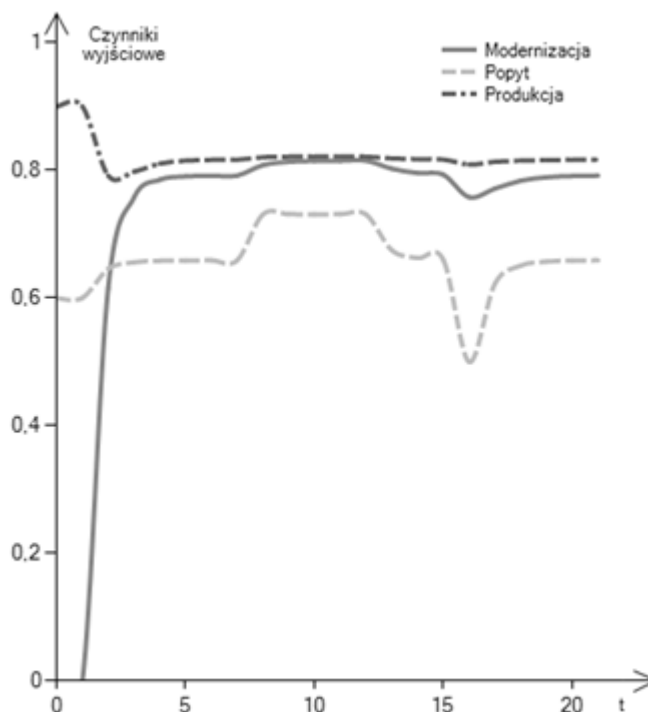
Rys.7. Nauczona macierz relacji

Rys.8. przedstawia zmiany czasowe wartości czynników wyjściowych: Jakości dostaw, Kadry i Modernizacji.



Rys.8. Zmiany czasowe wartości czynników: Modernizacja, Kadra, Jakość dostaw

Wzrost wartości czynnika Modernizacja zaskutkowało spadkiem wartości Kadry oraz wzrostem wartości Jakości dostaw. Spadek wartości Modernizacji spowodował wzrost wartości czynnika Kadra oraz spadek wartości czynnika Jakość dostaw. W kolejnym kroku symulacji jako czynniki wyjściowe wybrano: Modernizację, Popyt oraz Produkcję. Rys.9. przedstawia zmiany czasowe wartości Modernizacji, Popytu i Produkcji.



Rys.9. Zmiany czasowe wartości czynników: Modernizacja, Popyt, Produkcja

Wzrost wartości czynnika Popyt spowodował wzrost wartości czynnika Modernizacja, jego spadek zaskutkowało spadkiem wartości Modernizacji. Zmiany czynników Modernizacja i Popyt w niewielkim stopniu wpłynęły również na Produkcję.

Rys.10. przedstawia charakterystyki systemowe dla zainicjalizowanej mapy kognitywnej.

	Ci	Cj	Di	Dj	Pi	Pj
Czas realizacji	0,482	0,635	0,518	0,365	-0,016	-0,121
Jakość dostaw	0,46	0,534	0,54	0,466	-0,001	0,086
Kadra	0,484	0,38	0,516	0,62	0,073	0,117
Koszt	0,5	0,449	0,5	0,551	-0,102	0,146
Modernizacja	0,466	0,6	0,534	0,4	0,184	0,013
Popyt	0,541	0	0,459	1	0,129	0
Produkcja	0,453	0,586	0,547	0,414	0,125	0,134
Reklamacje	0,571	0,451	0,429	0,549	-0,056	-0,075
Rentowność	0,522	0,542	0,478	0,458	0,128	-0,053
Skuteczność	0,577	0,611	0,423	0,389	0,058	0,135
Zapotrzebowanie	0,451	0,634	0,549	0,366	-0,011	0,104
Zdolność produkcyjna	0,515	0,602	0,485	0,398	0,147	0,171

Rys.10. Charakterystyki systemowe nauczonej mapy

Z otrzymanych charakterystyk wynika, że system nie wpływa na Popyt. Najbardziej wzmacnia system Modernizacja (0,184), najbardziej osłabia Koszt (-0,102).

4. WNIOSKI

Praca poświęcona jest zastosowaniu kognitywnych systemów ekspertowych w logistyce. Opracowano model ekspertowego systemu logistycznego opartego na relacyjnej mapie kognitywnej. Przedstawiono wybrane wyniki działania logistycznego kognitywnego systemu ekspertowego. Dokonano pewnej analizy systemowej na podstawie otrzymanych rezultatów symulacji z uwzględnieniem uczenia modelu ekspertowego.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Borisow W. W., Krugłow W. W., Fiedułow A. C.: *Rozmyte modele i sieci*, Moskwa, Wydawnictwo „Telekom”, 2004. (w języku rosyjskim)
- [2] Hengjie S., Chunyan M., Roel W., Caththoor F.: *Implementation of Fuzzy Cognitive Maps based on Fuzzy Neural Networks and Application in Numerical prediction of Time Series*, IEEE Trans. Fuzzy Systems, vol. 18, pp. 233-250, 2010.
- [3] Jastriebow A., Gad S., Słoń G.: *Mapy kognitywne w monitorowaniu decyzyjnym systemów*, Warszawa, Studia i materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą, nr 47, str. 64-77, 2011.
- [4] Jastriebow A., Grzywaczewski M., Gad S.: *Analysis of certain class of discrete multidimensional system of extremal control*, SAMS, vol. 24, pp. 121-133, 1996.
- [5] Jastriebow A., Słoń G.: *Optimization of models of fuzzy relational cognitive maps*, Radom, In: Jastriebow A., Raczyńska M. (eds.) *Computers in scientific and educational activity*, Institute for Sustainable Technologies – National Research Institute, pp. 60-71, 2011.
- [6] Kandasamy W. B. V., Smarandache F., Ilanthenral K.: *Elementary Fuzzy Matrix and Fuzzy Models For Social Scientists*, Los Angeles, Automaton, 2007.
- [7] Mulawka J. J.: *Systemy ekspertowe*, Warszawa, WNT, 1996.
- [8] Papageorgiou E. I., Stylios C. D., Groumpos P. P.: *Active Hebbian learning algorithm to train fuzzy cognitive maps*, International Journal of Approximate Reasoning 37, pp. 219-249, 2004.
- [9] Piotrowska K.: *Zastosowanie map kognitywnych w inteligentnych systemach wspomagania podejmowania decyzji*, Logistyka 6/2011, str. 3433-3442, 2011.
- [10] Silov V. B.: *Przyjęcie rozwiązań strategicznych w rozmytym otoczeniu*, Moskwa, INPRORES, 1995. (w języku rosyjskim)
- [11] Siraj A., Bridges S. M., Vaughn R. B.: *Fuzzy Cognitive Maps for decision support in an intelligent intrusion detection system*, In: IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference, vol. 4, pp. 2165-2170, 2010.
- [12] Słoń G., Jastriebow A.: *Optimization and Adaptation of Dynamic Models of Fuzzy Relational Cognitive Maps*, Heidelberg, In: Kuznetsov S. O. et al. (eds.) *RSFDGrC 2011, Lecture Notes In Artificial Intelligence 6743*, pp. 95-102, Springer-Verlag, 2011.
- [13] Słowiński B.: *Wprowadzenie do logistyki*, Koszalin, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2008.