

Ewa STAWIARSKA
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Zarządzania, Administracji i Logistyki

LOGISTYCZNE SYSTEMY INFORMATYCZNE WYKORZYSTUJĄCE SZTUCZNĄ INTELIGENCJĘ W BRANŻY MOTORYZACYJNEJ

Streszczenie. Artykuł podzielono na rozdziały zawierające opisy działania inteligentnych systemów wspomagających/zastępujących pracę logistyka w systemach zaopatrzenia, produkcji, dystrybucji oraz w integrujących się metasyystemach. Do każdego z rozdziałów przygotowano podstawowe definicje oraz przykłady firm, które wykorzystują sztuczną inteligencję. W rozdziale pierwszym opisano firmę TRW Automotive – firma zarządza procesami produkcyjnymi z zastosowaniem AI (*Artificial Intelligenss*) opartej na koncepcji Six Sigma. W rozdziale drugim opisano możliwość pobierania nieustrukturalizowanych danych do zintegrowanych systemów zarządzania klasy ERP (z wykorzystaniem techniki ETL) w firmie General Motors. Również w rozdziale drugim zaprezentowano funkcje bota ALICE wspomagającego zarządzanie łańcuchami logistycznymi. Rozdział trzeci poświęcony jest AI wykorzystywanej w motoryzacyjnych sieciach dystrybucji marki BMW. Omówiono koncepcję Internetu rzeczy i działanie becon-ów. Czwarty rozdział poświęcony jest sztucznej inteligencji wspomagającej powoływanie i koordynowanie dynamicznych sieci dostaw, wykorzystującej oprogramowanie stworzone na podstawie teorii CAS (Złożonych Systemów Adaptacyjnych – *Complex Adaptive Systems*). Przewodnim celem artykułu było pokazanie trendów w rozwoju AI na potrzeby zarządzania logistyką w organizacji i sieci współpracujących przedsiębiorstw.

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja, logistyka

LOGISTICS SYSTEMS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Summary. The article consists of four chapters: Intelligent systems in production logistics; Intelligent transport logistics in supply chain management; Intelligent logistics and transportation management supporting distribution system; Intelligent

systems supporting organizing and coordinating the work of the dynamic supply network. In each of the chapters there is the theory part and examples of companies that use artificial intelligence. In the first chapter the TRW Automotive Company was described, which manages production processes using Artificial Intelligence (AI) based on the concept of Six Sigma. In the second chapter the ability to retrieve unstructured data to integrated management systems e.g. ERP (using techniques ETL), was described based on the practice at General Motors. Also in the second chapter the ALICE bot functions supporting the management of logistics chains was presented. The third chapter is devoted to AI used in the automotive distribution networks of the BMW brand. As well as the concept of the Internet of Things and operation of the beacon technology was discussed. The fourth chapter is devoted to artificial intelligence supporting the establishment and coordination of the dynamic supply network, using software developed based on the theory of CAS (*Complex Adaptive Systems*). The aim of this article was to show trends in the development of AI to manage logistics in the organization and a network of cooperating companies.

Keywords: artificial intelligence, logistics

1. Wstęp

Artificial Intelligence pracująca w biznesie to połączenie technologii informacyjnych i komunikacyjnych z infrastrukturą produkcyjną, logistyczną i transportową oraz pojazdami w celu poprawy bezpieczeństwa, zwiększenia efektywności procesów (zaopatrzeniowych, produkcyjnych, dystrybucyjnych i innowacyjnych) oraz ochrony środowiska naturalnego.

Według Duchy sztuczna inteligencja jest „dziedziną nauki zajmującą się rozwiązywaniem zagadnień niealgorytmizowanych”¹. Pod terminem sztuczna inteligencja kryje się wiele różnych narzędzi o złożonej budowie, służących do wspomaganie/zastępowania pracy ludzkiej. Podzielić je można na dwie grupy: pierwsza to narzędzia bazujące na symulacji procesów biologicznych, i tu najpopularniejsze są sieci neuronowe i algorytmy generyczne, druga grupa narzędzi to takie, które próbują odtwarzać bądź modelować procesy reprezentacji wiedzy i wnioskowania, do tej grupy zalicza się systemy ekspertowe (oparte na wiedzy, generujące wiedzę) – systemy zajmujące się rozwiązaniem problemów przeszukiwania i optymalizacji².

Sieci neuronowe działają podobnie jak neurony w mózgu, mające wiele wejść i jedno wyjście. Każde wejście ma swoją wagę. Sygnały wejściowe po przemnożeniu przez wagi są sumowane i na wyjście podawana jest wartość wyznaczona z funkcji. Przygotowanie sieci do pracy wymaga tzw. uczenia sieci. Polega to na przygotowaniu zbioru wejściowych danych

¹ Duch W., <http://www.phys.uni.torun.pl/~duch/Wyklady/AI/A17-1.ppt>, 09.07.2016.

² Kapczyński A. (red.): *Innowacyjne metody i narzędzia wspomagające podejmowanie decyzji w zarządzaniu*. WSB, Dąbrowa Górnicza 2010, s. 34.

uczących, ze znanymi poprawnymi odpowiedziami, kolejna czynność to losowanie wag dla danych na wejściu. Błędne decyzje systemu są korygowane przez poprawienie doboru wag. Sieci neuronowe wykorzystywane są jako klasyfikatory, mogą służyć do estymacji przebiegu funkcji bądź prognozowania (np. sprzedaży produkowanych dóbr potrzebnej w systemie MRP).

Systemy ekspertowe Niederliński definiuje jako programy do rozwiązywania problemów zleczanych ekspertom, charakteryzujących się strukturą funkcjonalną, których podstawowymi elementami są: baza wiedzy zawierająca wiedzę potrzebną do rozwiązywania określonego problemu, system wnioskujący wyznaczający fakty wynikające z bazy wiedzy i zbioru faktów początkowych. Charakteryzując dalej systemy ekspertowe, należy powiedzieć, że: wiedza jest niezależna od procedur wnioskowania, wiedzę można dodać, odjąć i zmodyfikować, baza może też zostać stworzona od zera przez użytkownika. Istnieją trzy sposoby reprezentacji wiedzy (za pomocą ram, sieci semantycznych, reguł). Współczesne systemy zarządzania produkcją klasy ERP, ERPII do optymalizacji działań wykorzystują klasyczne modele. Z kolei te klasyczne rozwiązania w porównaniu z metodami inteligentnymi nie radzą sobie z brakiem danych, nieprecyzyjnym zbiorem reguł, niepewnością. Uzasadnione jest zatem wprowadzanie do rozwiązań informatycznych wspomagających logistykę zaopatrzenia, produkcji, dystrybucji modułów mogących przetwarzać nieustrukturalizowane dane z wykorzystaniem sieci neuronowych, zbiorów rozmytych, ewidencji matematycznej i algorytmów genetycznych, co pomoże optymalizować procesy i poprawić ich koordynację. Hybrydowe połączenie ww. metod jest najlepszym narzędziem wspomagającym zarządzanie procesami³ biznesowymi. Wykorzystując sztuczną inteligencję, można usprawnić następujące obszary logistyki: 1. organizowanie łańcucha dostaw, łańcucha logistycznego bądź dynamicznej sieci przepływów innowacyjnych dóbr; 2. zarządzanie łańcuchem dostaw; 3. prognozowanie sprzedaży i zysków; 4. prognozowanie popytu na produkty i części zamienne; 5. inteligentne tworzenie harmonogramów produkcji; 6. wybór alternatywnych lokalizacji składowania zapasów; 7. sprawne i optymalne zarządzanie transportem od punktu przejścia produktów lub części zamiennych do odbiorcy; 8. tworzenie symulacji obrazujących prognozy podaży i popytu przy aktualnych parametrach produkcji; 9. automatyczną inteligentną kontrolę jakości detali będących w produkcji. Wykorzystanie metod sztucznej inteligencji w systemach wspomagających logistykę pozwoli dużym koncernom i mniejszym przedsiębiorstwom

³ Pearl J.: Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Network of Plausible Inference. Morgan Kaufmann Pub. Inc., San Francisco, California 1991; Topolski M.: Komputerowe algorytmy rozpoznawania sekwencyjnego łączące teorię ewidencji matematycznej z teorią zbiorów rozmytych, Raport PRE 1/2008. Politechnika Wroclawska (praca doktorska); Zhu H, Basir O.: Adaptive Fuzzy Evidential Reasoning with Information Theoretic Discounting for Robust Brain Tissue Classification. 5th International Symposium on Soft Computing for Industry (WAC-ISSCI), SEVILLE, Spain, June 28 – July 1, 2004.

diametralnie zwiększyć zyski, a koszty związane z wdrożeniem takich rozwiązań zwrócą się bardzo szybko.

2. Inteligentne systemy w produkcji

Zaproponowana przez Zadeha w 1965 roku wielowartościowa logika – logika rozmyta (*Fuzzy logic*) wraz z opartym na niej systemem wnioskowania okazała się niezwykle przydatna w zastosowaniach inżynierskich i znalazła sobie trwałe miejsce we współczesnych naukach technicznych. Systemy logiki rozmytej charakteryzują się dużą prostotą i elastycznością struktury przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej skuteczności. Są one oparte na bazie reguł IF-THEN⁴. Obecnie stosowane są trzy sformalizowane języki opisujące zbiory danych: klasyczna teoria zbiorów CST (*Classical Sets Theory*), teoria standardowych zbiorów rozmytych SFST (*Standard Fuzzy Sets Theory*) oraz teoria niestandardowych zbiorów rozmytych NFST (*Nonstandard Fuzzy Sets Theory*)⁵.

Drugą teorią, która traktuje prawdopodobieństwo matematyczne w sposób subiektywny, jest teoria Dempstera-Shafera, zwana inaczej teorią ewidencji matematycznej czy też teorią funkcji przekonania. Możliwe obszary zastosowania powyższej teorii obejmują⁶:

- integrację informacji pochodzących z różnych źródeł przy identyfikacji obiektu,
- modelowanie wyszukiwania informacji w bazach danych, rozpoznawanie planu działania,
- zagadnienia diagnostyki technicznej w warunkach zawodności elementów pomiarowych.

Opisane teorie są możliwe do zastosowania, jeśli przedsiębiorstwo posiada DBMS (*Data Base Management System*). DBMS zapewnia wielopoziomą integralność danych, pozwalając na łatwe i dynamiczne ich generowanie (nawet tych niepewnych i nieprecyzyjnych). System DBMS stał się niezbędny przy wprowadzonych przez Deminga usprawnień w procesie produkcji (w Toyocie). Narzędzia DBMS pozwalają na przechowywanie danych z monitoringu procesów produkcyjnych i przetwarzanie ich według określonego porządku, tj.:

1. znalezienie i zdefiniowanie usterek,
2. pomiar procesu powstawania usterek,
3. analiza zjawiska i tworzenie systemowego rozwiązania,

⁴ Piegat A.: Modelowanie i sterowanie rozmyte. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 1999.

⁵ Bukowski L.: Zapewnienie ciągłości dostaw w zmiennym i niepewnym otoczeniu. Wyższa Szkoła Biznesu, Dąbrowa Górnicza 2016, s. 51.

⁶ Topolska K., Topolski M.: Inteligentne systemy logistyczne w produkcji samochodów i części zamiennych. Zeszyty Naukowe, s. Logistyka i Transport, Vol. 7, No. 2. Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu, Wrocław 2008, s. 96.

4. wprowadzenie usprawnień,
5. kontrola trwałości usprawnień w produkcji.

Metoda Deminga znana obecnie pod nazwą DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*), jest podstawą, szeroko stosowanej doktryny Six Sigma. Dopiero teraz po zastosowaniu DBMS Six Sigma jest efektywnym miernikiem, pozwalającym porównać nieporównywalne dotąd procesy, wskazać na popełnione błędy i ich statystykę, opisać zagrożenia wraz z prawdopodobieństwem ich wystąpienia w przeszłości i przyszłości (zagrożenia niesione przez maszynę, człowieka, warunki na hali produkcyjnej itp.).

Firma TRW Automotive z powodzeniem zastosowała metodę DMAIC. Po wprowadzeniu Lean w produkcji firma wdrożyła Six Sigma w 2001 roku, co przeciwdziało suboptymalizacji.

3. Inteligentne systemy logistyczno-transportowe w zarządzaniu łańcuchem dostaw

Rozwój gospodarczy, wzrost produkcji pociągają za sobą stosowanie nowoczesnych rozwiązań informatycznych. Systemy informatyczne optymalizują przepływy wszystkich fragmentów łańcucha dostaw i łańcucha logistycznego. Ponieważ w wielu przypadkach dane przepływające przez metasytemy logistyczne w czasie rzeczywistym mają charakter niepewny i nieprecyzyjny, zastosowanie inteligentnych metod obliczeniowych w systemach klasy MRP, MRPII, ERP, WMS i innych jest bardzo uzasadnione. Tylko inteligentne rozwiązania są w stanie optymalizować całą logistykę zaopatrzenia fabryk samochodów i przyczynić się do istotnego zwiększenia zysków pozostałych przedsiębiorstw produkujących komponenty oraz usługodawców uczestniczących w przepływach.

Organizowanie łańcucha dostaw, łańcucha logistycznego bądź dynamicznej sieci przepływów innowacyjnych dóbr wiąże się po pierwsze z wyborem dostawców komponentów czy usług logistycznych. W tym działaniu mogą pomóc inteligentne systemy biznesowe tym bardziej pożądane, im bardziej niewykonalne lub niesprzyjające jest wskazanie, która z alternatyw jest odpowiedniejsza, gdy wybór następuje spośród dużej liczby kryteriów lub na podstawie opinii wielu specjalistów.

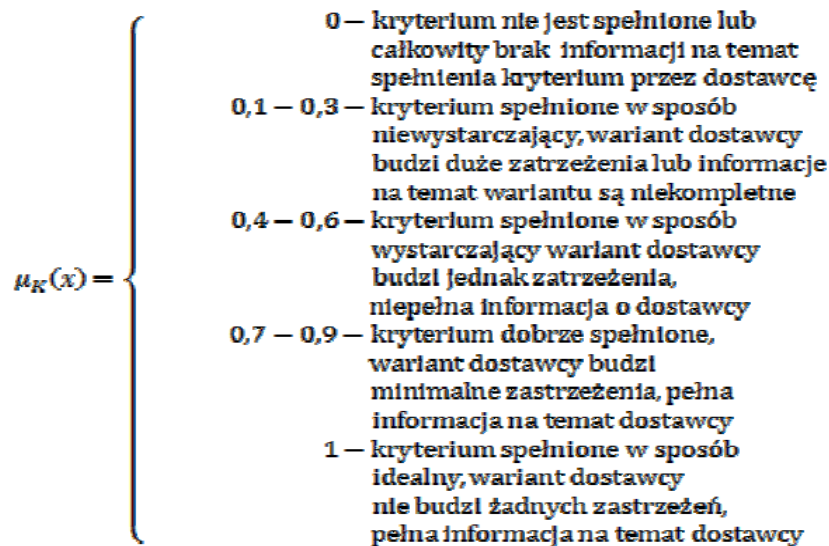
Dla przedstawienia przebiegu procedury doboru dostawcy wymagane jest postawienie odpowiednich kryteriów wyboru. W związku z powyższym przyjmuje się, że potencjalni dostawcy x_k , $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ porównywani są pod względem dziewięciu kryteriów $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9$, co przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Ocena dostawców według wybranych kryteriów (Kryterium)	Wartość kryterium dla danego dostawcy						
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Cena oferowanych komponentów w tys. zł (K1)	22,12	8,74	16,41	14,01	10,81	12,37	12,18
Terminy – czas realizacji dostaw w godzinach (K2)	24	24	24	24	48	72	24
Jakość oferty, punktowa ocena (K3)	4	7,5	3	7	8	2,6	12
Pomoc w trudnych i nadzwyczajnych sytuacjach/doświadczenie w produkcji komponentów w latach (K4)	3	9	18	9	9	8	8
Kontakty/procentowy udział rynku oferowanych dóbr (K5)	0,67	1,2	2,76	0,84	0,22	0,76	5,50
Efektywność pracy serwisu technicznego według liczby zrealizowanych interwencji/osobę (K6)	341,9	207,2	107,0	145,2	113,2	43,4	183,7
Elastyczność techniczna/liczba przebrojeń maszyn/miesiąc (K7)	70	3	8	1	32	50	3,2
Możliwości utrzymania zapasów wielkości magazynów w tys. m kw. (K8)	18,92	2,61	8,78	4,16	2,16	5,33	4,46
Transport średni wiek taboru w latach (K9)	2	2	2	4	8	7	5

Źródło: Opracowanie własne.

Wynikiem tej oceny są zbiory rozmyte zdefiniowane na zbiorze $X_{op} = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\}$. Funkcja przynależności zbioru rozmytego K przyjmuje wartości ocen wariantów względem kryteriów rozmytych i opisana jest za pomocą określeń lingwistycznych. Postać tej funkcji przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Postać funkcji przynależności

Fig. 1. Form of membership function

Źródło: Opracowanie przez Knosala R.: Komputerowe wspomaganie zarządzania przedsiębiorstwem. PWE, Warszawa 2007, s. 88.

Na podstawie oceny wartości kryteriów zestawionych w tabeli 1 oraz zdefiniowanej funkcji przynależności wyznaczony został stopień przynależności do zbioru rozmytego K. Wartości kryterium dla danego dostawcy pozostają w zgodzie z postacią funkcji przynależności, co przedstawia tabela 2.

Tabela 2

Wartość stopnia przynależności kryterium do zbioru rozmytego K

Kryterium	Wartość stopnia przynależności do zbioru rozmytego K						
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Cena oferowanych komponentów w tys. zł (K1)	0,1	0,8	0,3	0,4	0,7	0,5	0,6
Terminy – czas realizacji dostaw w godzinach (K2)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,4	0,9
Jakość oferty punktowa ocena (K3)	0,3	0,6	0,2	0,6	0,7	0,1	0,9
Pomoc w trudnych i nadzwyczajnych sytuacjach/doświadczenie w produkcji komponentów w latach (K4)	0,3	0,7	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6
Kontakty/procentowy udział w rynku oferowanych dóbr (K5)	0,4	0,7	0,9	0,6	0,2	0,5	1
Efektywność pracy serwisu technicznego, liczba zrealizowanych interwencji/osobę (K6)	0,9	0,7	0,4	0,5	0,4	0,2	0,6
Elastyczność techniczna/liczba przebrożeń maszyn/miesiąc (K7)	0,3	0,6	0,2	0,6	0,7	0,1	0,9
Możliwość utrzymania zapasów wielkości magazynów w tys. m kw. (K8)	0,9	0,3	0,7	0,4	0,2	0,6	0,5
Transport, średni wiek taboru w latach (K9)	0,8	0,8	0,8	0,5	0,1	0,2	0,4

Zródło: Opracowanie własne.

Mając na względzie dane przedstawione w tabeli 2, stworzono zbiory rozmyte, które w bezpośredni sposób odnoszą się do zestawionych stopni przynależności. Przykładowo „Pomoc w trudnych i nadzwyczajnych sytuacjach/doświadczenie w produkcji komponentów w latach (K4)” można przedstawić jako:

$$K4 = \frac{0,3}{x1} + \frac{0,7}{x2} + \frac{0,9}{x3} + \frac{0,7}{x4} + \frac{0,7}{x5} + \frac{0,6}{x6} + \frac{0,6}{x7}$$

Decyzję rozmytą typu minimum wyznaczyć można z następującej zależności:

$$D = K1 \cap K2 \cap K3 \cap K4 \cap K5 \cap K6 \cap K7 \cap K8 \cap K9$$

Podstawiając dane do powyższego wzoru, decyzja rozmyta typu minimum jest następującej postaci:

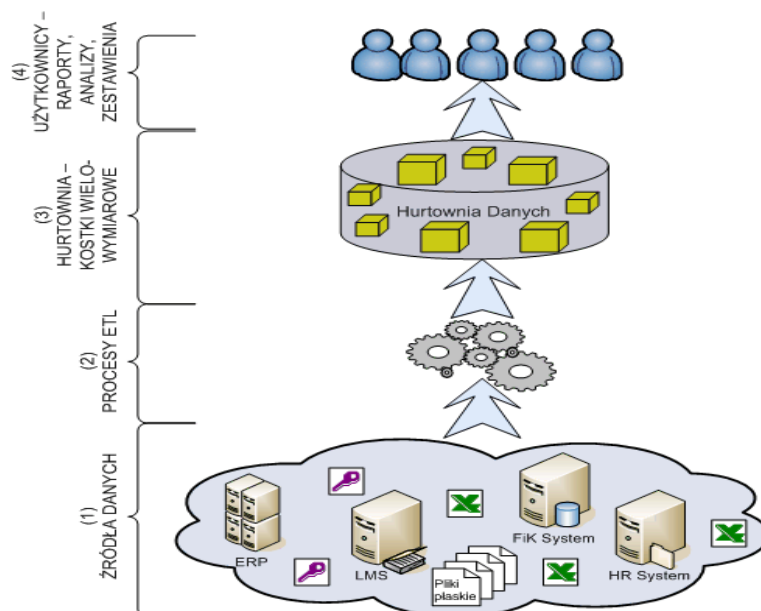
$$D = \frac{0,1}{x1} + \frac{0,3}{x2} + \frac{0,2}{x3} + \frac{0,1}{x4} + \frac{0,1}{x5} + \frac{0,1}{x6} + \frac{0,35}{x7}$$

Dostawca x7 charakteryzuje się największym stopniem przynależności, a zatem zostanie on wybrany w pierwszej kolejności jako dostawca komponentu.

Przedstawiona metoda jest alternatywna w stosunku do pozostałych technik, które są wykorzystywane w przypadku decyzji wielokryterialnych. Procedura ta wymaga postawienia założeń dotyczących stworzenia opisu funkcji przynależności, oceny stopni przynależności do zbioru, na podstawie zadanych kryteriów oraz wyznaczenia decyzji rozmytej. Metoda ta, przy

niewielkiej ilości wariantów jest niezbyt skomplikowana. W przypadku gdy decydent ma do czynienia z dużą liczbą opcji, w wyznaczaniu decyzji rozmytej można wykorzystać arkusz kalkulacyjny Excel. Wymagania sprzętowe i programowe w tym przypadku będą więc minimalne. Ponadto, przedstawiona procedura jest rzetelnym narzędziem wspomaganie decydentów w dokonywaniu słusznych wyborów.

Gdzie zatem w wybór dostawców za pomocą metody zbiorów rozmytych zaangażować można sztuczną inteligencję? Dane na temat dostawców są nieustrukturalizowane i trudno je pozyskać i obiektywnie ocenić. Podobnie jest z danymi gospodarczymi potrzebnymi do poprawy wiarygodności prognoz sprzedaży tworzonymi na potrzeby systemu klasy ERP czy w eliminowaniu ryzyka występującego w łańcuchu dostaw, czy zakłóceń w sieciach logistycznych. Korzystając z prób klasyfikacji źródeł ryzyka występującego w łańcuchach dostaw/logistycznych^{7,8}, można przygotować repozytorium danych dla hurtowni danych. Dane nieustrukturalizowane można wprowadzać do hurtowni danych, wykorzystując sztuczną inteligencję bazującą na technice ETL. Hurtownia danych w firmie General Motors funkcjonuje z wykorzystaniem ETL, przetwarzając nieustrukturalizowane dane w dane uporządkowane (GM wykorzystuje oprogramowanie SAS 9 firmy SAS). Rysunek 2 przedstawia proces porządkowania danych nieustrukturalizowanych.



Rys. 2. Proces porządkowania danych nieustrukturalizowanych

Fig. 2. The process of organizing unstructured data

Źródło: <http://edu.pjwstk.edu.pl/wyklady/hur/scb/wyklad13/w13.htm>.

⁷ Waters D.: Supply chain risk management: vulnerability and resilience in Logistics. Kogan Page Limited, London-Philadelphia, 2007.

⁸ Chowdhury M. et al: Supply chain resilience to mitigate disruptions: a QFD approach, <http://www.pacis-net.org/file/2012/PACIS2012-108.pdf>, 29.12.2016.

Pierwszym etapem procesu jest zdefiniowanie źródeł danych, znajdujących się w przedsiębiorstwie. Mogą to być źródła danych pozostających w strukturze/systemie, jak np. ERP, CRM, można również korzystać z danych znajdujących się w surowych plikach tekstowych (*ang. flat file*), dokumentach aplikacji Microsoft, Excel, lub Microsoft, Access, lub bazach danych gospodarczych zewnętrznych firm.

Drugim etapem jest zaprojektowanie procesu ETL (*Extract Transform Load*) od pewnego czasu, semantycznie to samo oznaczają procesy DTS (*Data Integration Process*) czy IS (*Integration Services*).

Trzecim etapem jest stworzenie hurtowni, która zostanie zasilona danymi (podlegającymi szeregom wcześniejszych transformacji i przekształceń).

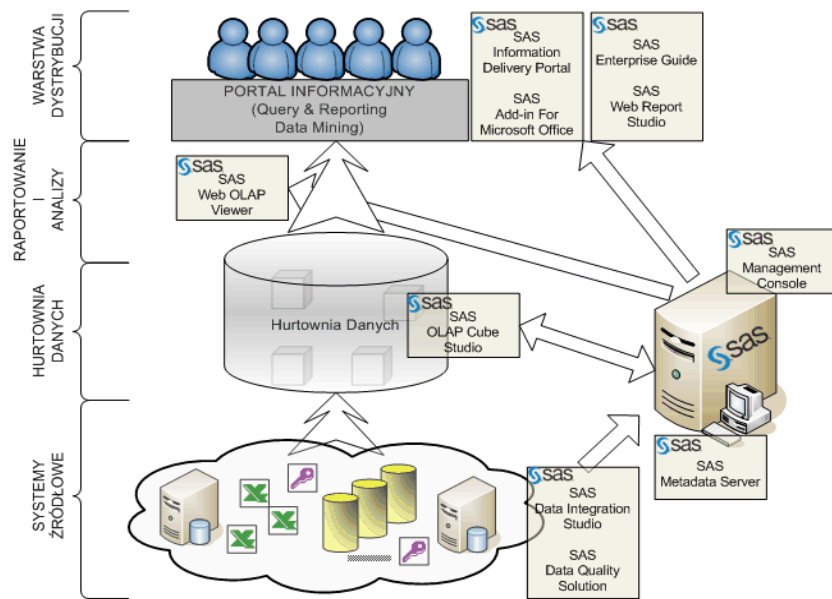
Czwarty etap, to etap stricte analityczny. Na tym etapie wykorzystywanych jest wiele narzędzi analitycznych używających technik eksploracji danych, bazujących na algorytmach sztucznej inteligencji.

Głównym zadaniem systemów AI jest usprawnienie procesu decyzyjnego w firmie GE. Systemy AI pozwoliły wykorzystywać wiedzę specjalistów zajmujących się m.in. zarządzaniem, controllingiem, sprzedażą, a także dyrektorów operacyjnych – tak aby ich działania skupiały się na podejmowaniu decyzji lub dostarczaniu przesłanek osobom stojącym wyżej w hierarchii organizacyjnej. Do podstawowych korzyści, jakie wymienia się w związku z wdrożeniem systemu AI firmy SAS GE, zalicza się:

- **wiarygodne i spójne informacje ze wszystkich obszarów biznesowych,**
- **dane firmy i zewnętrzne (metadane z firmy SAS) przekształcane są w użyteczną wiedzę,**
- **sprawne tworzenie prognoz dla firmy,**
- **szybką reakcję na trendy rynkowe, wykrywanie zagrożeń, szans w otoczeniu,**
- **śledzenie odchyleń budżetu** – system AI integrując praktycznie kompletne informacje opisujące kondycję finansową przedsiębiorstwa, w tym przychody i koszty, pozwala niemalże w czasie rzeczywistym oceniać procent realizacji założonego budżetu (z podziałem na produkty, rynki zbytu, przedsiębiorstwa produkcyjne, pojedynczych dealerów samochodów itp.),
- **mniej osób zaangażowanych w procesy decyzyjne,**
- **więcej trafnych decyzji** – dostęp do większej ilości informacji, pozwala na podejmowanie decyzji obarczonych mniejszym ryzykiem porażki,
- **wysoki wskaźnik zwrotu z inwestycji, który jest skutkiem wdrożenia AI.**

General Motors współpracuje z firmą SAS od 1997 r. Wdrożony wtedy system informacji marketingowej ewaluował. Dzisiaj skonsolidowane systemy raportowania opierają się na rozwiązaniu SAS 9 Business Intelligence Platform (wspomnianą ewolucję systemu można prześledzić⁹), którego funkcjonalność pokazuje rysunek 3.

⁹ <http://www.sascommunity.org/seugi/SFI2006/S00624.pdf>, 12.09.2016.



Rys. 3. Proces porządkowania danych nieustrukturalizowanych z wykorzystaniem oprogramowania firmy SAS

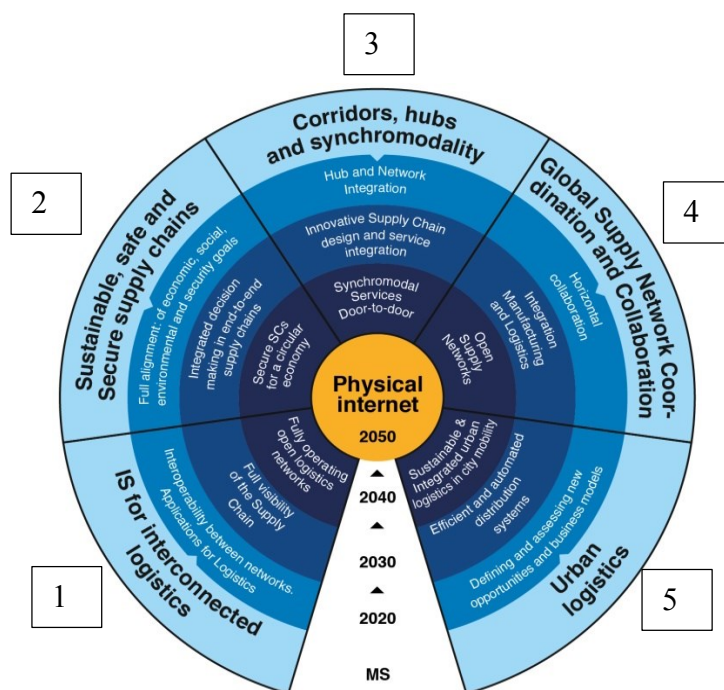
Fig. 3. The process of organizing unstructured data with the use SAS software

Źródło: <http://edu.pjwstk.edu.pl/wyklady/hur/scb/wyklad13/w13.htm>.

Inne obszary zastosowań Artificial Intelligence u producentów samochodów to:

- **zrównoważona Karta Wyników,**
- **budżetowanie i controlling,**
- **analizy finansowe,**
- **analizy sprzedaży,**
- **analizy marketingowe,**
- **analizy logistyczne.**

Europejska Platforma Technologiczna ALICE (ETP-Alice) jest utworzona do opracowania kompleksowej strategii Internetu fizycznego działającego na rzecz usprawnienia przepływów w łańcuchach dostaw, publikowania badań, rekomendowania innowacyjnych rozwiązań logistycznych. Platforma dzisiaj wspomaga realizację programu UE w dziedzinie badań: Horyzont 2020. Założeniem ALICE jest, aby na platformie przewoźnicy i dostawcy usług logistycznych ściśle współpracowali z producentami i doradcami celem: obniżenia kosztów logistycznych, przyspieszenia przepływów, maksymalizacji wykorzystania zasobów (takich jak pojemność pojazdów i infrastruktury), ochrony środowiska. Główne obszary rozwoju realizowane za sprawą AIICE przedstawia rysunek 4.



1. Systemy informatyczne dla logistyki połączonej

2020 - interoperacyjność między siecią internetową i aplikacjami IT przedsiębiorstw

2030 - pełna widoczność przepływających dóbr w całym łańcuchu dostaw

2040 - w pełni funkcjonalne i operacyjne otwarte sieci logistyczne

2050 - Internet fizyczny

2. Zrównoważone, bezpieczne i chronione łańcuchy dostaw

2020 - pełne dostosowanie celów ekonomicznych, środowiskowych, społecznych i bezpieczeństwa

2030 - zintegrowany proces decyzyjny w całym łańcuchu dostaw

2040 - bezpieczeństwo łańcuchów logistycznych dla gospodarki kołowej

2050 - Internet fizyczny

3. Korytarze, huby i ich synchronodalność

2020 - hub i integracja sieci

2030 - innowacyjna konstrukcja łańcucha logistycznego oraz synchronodalność usług

2040 - usługi synchronodalne od drzwi do drzwi

2050 - Internet fizyczny

4. Globalna koordynacja sieci zasilającej i rozwój współpracy

2020 - współpraca pozioma między ogniwami łańcuchów logistycznych

2030 - integracja logistyczna producentów

2040 - sieci otwarte na dostawy

2050 - Internet fizyczny

5. Logistyka miejska

2020 - definiowanie i oceny nowych możliwości i modeli biznesowych dla miejskich usług logistycznych

2030 - wydajne i zautomatyzowane systemy dystrybucji w miastach

2040 - zrównoważona i zintegrowana logistyka miejska z systemem transportu miejskiego

2050 - Internet fizyczny

Rys. 4. Obszary rozwoju wspomagane przez ALICE

Fig. 4. Areas of development supported by ALICE

Źródło: <http://www.etp-logistics.eu/>

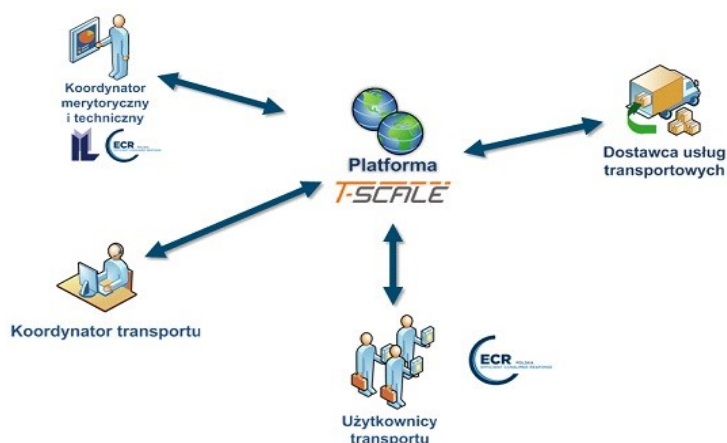
Efektem projektu ALICE jest globalna sieć Internetu fizycznego. Pojęcie fizycznego /logistycznego Internetu PI – (*Physical Internet*), oznaczanego również z greckiego jako π , zostało po raz pierwszy wprowadzone przez profesora Benoit Montreuil z Uniwersytetu Laval w Kanadzie. Przez analogię do Internetu cyfrowego prezentuje on wizję, w jaki sposób towary mogą być produkowane, magazynowane i transportowane w bardziej wydajny, ekonomiczny i przyjazny środowisku sposób. Informacja przekazywana przez Internet, np. e-mail, jest zamknięta w pakiecie zawierającym wszystkie istotne dane do jej identyfikacji oraz adresu przeznaczenia. Wiadomość e-mailowa nie musi za każdym razem być przesyłana do odbiorcy tą samą drogą, często podróżuje ona określoną trasą, wykorzystując wolną moc przesyłową w Internecie. Logistyczny Internet pozwoliłby ładunkom robić to samo w sensie fizycznym. Transport produktów odbywałby się w standardowych, modułarnych π -kontenerach wielorazowego użytku w otwartej, uniwersalnie dostępnej, intermodalnej π -sieci dystrybucji, wykorzystując wszelkie dostępne środki i trasy transportu. π -pojemniki wyposażone byłyby w inteligentne chipy (np. tagi RFID), w celu zapewnienia ich identyfikacji, monitorowania bezpieczeństwa, planowania i lokalizacji w trakcie transportu w czasie rzeczywistym, czyli wykorzystanie Internetu rzeczy w celu połączenia i komunikacji π -pojemników z π -siecią. Koordynacja globalnej sieci logistycznej (ogniwi przynależących z własnej woli) odnosi się do pionowych i poziomych synergii wzdłuż i w poprzek różnych łańcuchów dostaw. Koordynacja oznacza synchronizację i dynamiczną aktualizację działalności logistycznej i transportowej, we wszystkich ogniwach (producentów, detalistów, dostawców usług logistycznych, przewoźników, operatorów terminali etc.). Naturalne jest, że opisana platforma musi mieć bota (sztuczną inteligencję). Bot ALICE wykorzystuje elektroniczne mapy i telematykę do kontroli pojazdów lub ładunków za pośrednictwem bezprzewodowej sieci teleinformatycznej i jest w stanie poinformować zainteresowanych o pozycji ładunku, prędkości jazdy, kierunku przemieszczania się środka transportu. Potencjalny nabywca usługi logistycznej może uzyskać informacje dotyczące trasy przejazdu, habów przeładunkowych, magazynów na trasie, bot porówna ceny i warunki sprzedaży pomiędzy różnymi dostawcami w trybie on-line, jako pośrednik dokona zamówienia, przyjmie zapłatę, przyjmie reklamację. Bot ALICE już się uczy, a jego doradztwo jest bardzo pożądane.

4. Inteligentne systemy logistyczno-transportowe wspomagające zarządzanie systemami dystrybucji

Zgodnie z ideą Internetu fizycznego pojęcie logistyki dystrybucji przedsiębiorstwa produkującego nie może być dziś rozdzielane z pojęciem logistyki miejskiej. 14 stycznia 2014 roku Polskie Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju podpisało z Komitetem Transportu

Polskiej Akademii Nauk „Porozumienie dla Przyszłości Inteligentnego Transportu”, którego celem było stworzenie wieloletniego programu badawczego (z budżetem ok. 1 mld zł), propagowanie nowoczesnej infrastruktury transportowej oraz budowanie interoperacyjnego systemu opartego na intermodalnych węzłach transportowych objętych ponadregionalnym systemem zarządzania transportowego, stanowiącego wsparcie dla systemu ewakuacji i zarządzania kryzysowego¹⁰.

Analizując finansowane projekty badawcze, warto zwrócić uwagę na ten wspierający zrównoważone zarządzanie fizyczną dystrybucją przedsiębiorstw regionalnych, w którym przedstawiono system informatyczny MonZa i platformę komunikacyjną T-Scale. Celem T-Scale jest dokonywanie wspólnych zakupów usług transportowych przez użytkowników systemu. T-Scale umożliwia wymianę informacji w czasie rzeczywistym pomiędzy podmiotami zaangażowanymi w realizację przewozów (użytkownik transportu, dostawca usług transportowych, koordynator). Korzyścią ze współpracy jest ograniczenie kosztów personalnych związanych z organizacją transportu przez przeniesienie wybranych odpowiedzialności na koordynatora transportu. Ideę rozwiązania przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Współpraca firm w organizacji procesów transportowych

Fig. 5. Cooperation companies in the organization of transport processes

Źródło: Opracowanie na podstawie materiałów ILiM.

Koncepcja współpracy zakłada, iż załadowcy w obrębie branży czy regionu wymieniają się informacjami na temat planowanych miejsc, skąd będą realizowane dostawy oraz dokąd będą prowadzone wysyłki wyrobów gotowych. Podstawowymi zadaniami koordynatora są: łączenie tras w taki sposób, aby maksymalizować wielkości ładunków wysyłanych w danym kierunku lub sprowadzanych z danego regionu oraz osiąganie korzyści dla wszystkich użytkowników platformy, przez uzyskanie lepszych stawek u przewoźników. Dodatkowo, w celu wsparcia

¹⁰ Modelewska P.: Rozwiązania IT dla transportu szynowego – relacja debaty Lunch z Kurierem, przegląd-its.pl/2014/04/17/rozwiązania-dla-transportu-szynowego-relacja-z-debaty-lunch-zkurierem, 17.04.2014.

procesu wymiany informacji pomiędzy współpracującymi podmiotami, rozwijana jest też elektroniczna platforma wymiany informacji, dotyczącej wspólnego planowania zapasów np. dystrybucyjnych w miejskim centrum logistycznym. Koncepcja CPFR (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment), czyli wspólne prognozowanie, planowanie i uzupełnianie zapasów opiera się na porozumieniu partnerów biznesowych (transportowych, spedycyjnych, logistycznych i ich zleceniodawców) w zakresie stałej wymiany informacji. System informatyczny MonZa generuje propozycje zakupów na podstawie prognoz sprzedaży. Zbliżone rozwiązanie TSL dla sektora automotive wypracował koncern Müller – Die lila Logistik. Wykorzystując koncepcję Kanban usprawnia przepływy dóbr za pomocą systemu informatycznego VMI (Vendor Managed Inventory). Planuje trasy transportowe (na podstawie metod: milkrun, całopojazdowych tras bezpośrednich, cross-docking), opiera się na ekonomicznych analizach, które uwzględniają nie tylko odległość, ale także dotrzymanie terminów, czasu załadunku/rozładunku, parametrów logistycznych (gabarytów), ubezpieczenia. Za efektywne połączenie ruchów towarowych w tzw. „trasy ekologiczne” (które łączą strumienie zaopatrzeniowe różnych przedsiębiorstw) koncern Müller – Die lila Logistik został wyróżniony w Niemczech nagrodą Zrównoważonego Rozwoju 2011. Koncern GM dwa razy (w latach 2011 i 2012) wyróżnił Müller – Die lila Logistik nagrodą „Dostawcy Roku”.

W celu lepszego zarządzania miejskim transportem towarów realizowany był projekt SUGAR (Sustainable Urban Goods Logistics Achieved by Regional and Local Policies) – Zrównoważona Logistyka Towarów w Miastach. Wynikiem projektu (zakończonego w 2012 roku) jest baza wiedzy i podręcznik, w którym opublikowano 44 dobre praktyki logistyczne, np. rozwój dostaw nocnych, wdrażanie czystych, cichych i wydajnych technologii, ciche załadunki i rozładunki towarów, wielofunkcyjne pasy ruchu, rozwiązanie problemu niedozwolonego parkowania samochodów dostawczych, gromadzenie wiedzy dotyczącej sposobu działania miejskiego transportu towarów oraz jego kontrolowania.

Kolejna baza wiedzy zawarta jest w beaconach. iBeacon zastępują sprzedawców w sieci dealerskiej BMW. Beacons komunikują się ze smartfonami (z odpowiednią aplikacją) przez Bluetooth. Klient zbliżając się do poszczególnych beaconów rozmieszczonych w salonie może zobaczyć w smartfonie odpowiednią treść: przewodnik głosowy, a także filmowy oraz zdjęciowy. W strefie „mini” może poznać historię marki, w strefie „elektrycznej i3” można zapisać się na jazdę próbną i poznać szczegóły dotyczące samochodu. Jeśli klient wyrazi chęć zakupu i zażyczy sobie pojazd w określonym kolorze i nieprecyzyjnych cechach, inteligentny system bazodanowy na podstawie niepewnej i rozmytej wiedzy dokładnie sprecyzuje pojazd bądź część zamienną opisaną przez kupującego. Serwis dealerski za pomocą sztucznej inteligencji uczącej się coraz dokładniej diagnozuje usterki samochodów. Inteligentny samochód, który wyjechał od dealera, „nabywa doświadczenia” w komunikowaniu się z właścicielem i jeźdźcą, Internet rzeczy zastosowano w nim dla systemów typu ABS i SRS,

aby przekazywać informacje o zagrożeniach. Zresztą i ta komunikacja może za chwilę stanie się zbędna, albowiem Google pokazał koncepcyjny projekt Androida panującego nad całym pojazdem w komunikacji z jezdnią.

5. Inteligentne systemy wspomagające organizowanie i koordynowanie pracy dynamicznych sieci dostaw

Relacje sieciowe umożliwiają rozszerzenie puli zasobów o zasoby kooperantów, dlatego przyszedł czas na modelowanie dynamicznie zmieniających się sieci współpracujących przedsiębiorstw z wykorzystaniem AI¹¹. Podejmowanie decyzji dotyczących współpracy można sklasyfikować według ilości informacji, które posiada decydent w odniesieniu do skutków podjętej decyzji. Klasy w obrębie tej problematyki obejmują podejmowanie decyzji w warunkach¹²: pewności, ryzyka, niepewności, interakcji (kooperacji/konfliktu). Podejmowanie decyzji w warunkach interakcji jest domeną teorii gier. Teoria ta zajmuje się opisem sytuacji, w której uczestniczą podmioty świadomie podejmujące decyzje. Każdy gracz wpływa na wynik gry, wybierając jedną ze swoich możliwych do stosowania strategii, przy tym ostateczny wynik gry nie zależy tylko od niego, ale również od wyborów strategii pozostałych graczy. W opisie każdej gry powinny znaleźć się następujące elementy¹³:

- wyszczególnienie uczestników gry,
- przedstawienie możliwości postępowania każdego gracza (określenie strategii postępowania graczy),
- opis dostępnej graczom informacji,
- możliwe precyzyjne określenie celów, do których dążą gracze, określenie wypłat lub strat (wygranych), które uzyskują gracze z rozważanej strategii.

Kałuski J. klasyfikuje gry¹⁴ wyodrębniając gry kooperacyjne, w których jednym z podstawowych zagadnień rozważanych przy tym modelowaniu jest problem zawiązania koalicji graczy oraz problem podziału wypłaty między członków koalicji.

Sztuczna inteligencja wspomaga graczy w podejmowaniu decyzji taktycznych, operacyjnych i strategicznych. Podaje charakterystyki podmiotów tworzących sieć jako czynniki determinujące ich zdolności do adaptowania się do zmian otoczenia oraz podaje czynniki egzogeniczne pochodzące z mikro- i makrootoczenia. Kramarz M. i Kramarz W.¹⁵

¹¹ Kramarz M., Kramarz W.: Modelowanie symulacyjne sieci dostaw jako złożonych systemów adaptacyjnych. „Logistyka”, nr 2, 2011, s. 343.

¹² Miller D.W., Starr M.K.: Praktyka i teoria decyzji. PWN, Warszawa 1971, s. 65.

¹³ Wolny M.: Wspomaganie decyzji kierowniczych w przedsiębiorstwie przemysłowym. Politechnika Śląska, Gliwice 2007.

¹⁴ Kałuski J.: Teoria gier. Politechnika Śląska, Gliwice 2002, s. 20.

¹⁵ Kramarz M., Kramarz W.: op.cit.

wyodrębnili istotne czynniki, które należy uwzględniać tworząc sztuczną inteligencję wyręczającą człowieka w podejmowaniu decyzji o podwykonawstwie (wyborze graczy) i są to: zdolności produkcyjne, koszty produkcji na czas, możliwość realizacji żądań klienta, dostępność zasobów, koszty produkcji (bez wyznaczonego czasu), czas realizacji dostawy. Szwajcarskie Stowarzyszenie Pracowników Gospodarki Materiałowej SVME razem z przedstawicielami przemysłu tworząc bazę danych dla AI wskazało na 18 czynników istotnych w podejmowaniu decyzji make or buy. Wyniki badań przedstawia tabela 3.

Tabela 3

Czynników w podejmowaniu decyzji make or buy i ich waga

Czynnik	Średnia ocena ważności podana do BI wyłoniona na podstawie badania ankietowego szwajcarskich przedsiębiorców
Problemy magazynowania	1,9
Gwarantowane gotowości dostaw	3,64
Moce produkcyjne	3,6
Brak know-how	2,24
Zagrożenie utratą know-how	2,0
Problemy finansowe	1,8
Zapewnienie miejsc pracy	3,4
Problemy redukcji personelu	1,92
Gwarancje niezależności	2,28
Zapewnienie jakości	3,54
Problemy gwarancji	2,3
Odpowiedzialność za straty	1,7
Obawa utraty image	1,88
Horyzont czasowy decyzji	2,1
Koniunktura	2,8
Niepewność odnośnie do popytu w czasie	2,1
Kwestie prawne, patenty, licencje	1,64
Prestiż producenta	1,78

Zródło: Opracowanie własne.

Analityczne modele, które studiują obszar podwykonawstwa, są ograniczone do wybranych aspektów. Jednak od 2001 roku podejmuje się w pracach naukowych dyskusję nad możliwością zastosowania teorii CAS (*Complex Adaptive Systems*) – Złożonych Systemów Adaptacyjnych. Twórcy teorii CAS – Choi, Dodey i Rungtusanathnam w 2001 r., wskazali, iż zarządzanie łańcuchami dostaw wymaga adaptacji do zmian w skomplikowanych globalnych sieciach organizacji. Sieci dostaw rozważane w kategorii CAS są zbiorem węzłów produkcyjno-logistycznych połączonych różnymi typami relacji, które wykazują działania adaptacyjne w odpowiedzi na zmiany w środowisku i systemie samych węzłów. Działania te obejmują zarówno reakcje w poszczególnych węzłach, jak i w relacjach między nimi. Węzły mogą ewaluować w czasie. Własność sieci dostaw traktowanych jako CAS powoduje, że zmiany w otoczeniu wywołują nieliniowe reakcje sieci jako systemu. Krupski podkreśla, że w teorii i praktyce zarządzania wzorce można sprowadzić do określonych, znanych przebiegów trajektorii zachowań układu, ich końców oraz różnych punktów równowagi.

Znanymi wzorcami są: cykl życia produktu, cykl życia rynku, cykl życia organizacji, cykl życia sektora, cykl życia strategii, cykl życia okazji. Oprogramowanie AI bazuje zatem na teorii CAS i dynamice systemów zarządzania opartej na wzorcach. AI symuluje skutki potencjalnych decyzji tworząc modele przyczynowo-skutkowe i prowadzi na nich określone eksperymenty. Modele, tj.: ich elementy, zależności pomiędzy poszczególnymi elementami (opisane układem równań), można wygenerować za pomocą metod¹⁶ zawartych w symulatorach (jednym z nich jest Powersim Studio Express 2000). Symulatory i ich modele agentowe oferują zatem możliwość modelowania systemów społecznych czy biznesowych, które składają się z agentów (aktorów) współdziałających i wpływających na siebie nawzajem, uczą się ze swoich doświadczeń i dostosowują swoje zachowanie do środowiska¹⁷.

6. Zakończenie

Artificial Intelligence to gorący temat rozpoznawany przez menadżerów logistyki chcących rozwinąć swoje organizacje i superorganizacje (łańcuchy dostaw, systemy dystrybucji, dynamicznie zmieniające się sieci współpracy). Raporty zewnętrzne zamawiane u najlepszych analityków, jak Gartnera i Forrester Research stają się niewystarczające. Dzisiaj potrzebna jest menadżerom informacja on-line generowana w prosty i czytelny sposób również z nieustrukturalizowanych danych. Proponowane rozwiązania AI oferują wizualizacje danych, konieczne wyjaśnienie (z użyciem syntezy mowy) oparte na wzorcach wyuczonych wcześniej. Narracyjna interpretacja danych jest już standardem systemów ekspertowych. AI i poszczególne narzędzie analityczne cały czas ewoluują w kierunku zaangażowania sztucznej inteligencji. Poniżej kilka wyraźnych trendów rozwoju AI¹⁸:

1. Big BI – eksploracja danych w czasie rzeczywistym. Współpracownicy będą pracowali nad danymi zdalnie i razem. Informacje będą wyświetlane na dużych tablicach dotykowych, generowane przy współpracy elektronicznego eksperta, pamiętającego wszystkie decyzje podjęte w przeszłości, przywołującego optymalne wybory w kontekście panujących warunków gospodarczych, wskazującego właściwe osoby i zespoły do realizacji zadań.
2. Analizy nowych źródeł danych będą osłabiały istnienie pewnych długotrwałych modeli biznesowych. Bazy danych kooperujących przedsiębiorstw nieraz z różnych branż będą integrowane.

¹⁶ Szerzej o metodach symulacji logistycznych: Bukowski L.: Zapewnienie ciągłości dostaw w zmiennym i niepewnym otoczeniu. Wyższa Szkoła Biznesu, Dąbrowa Górnicza 2016, s. 138-188.

¹⁷ Epstein J.M., Axtell R.: Artificial societies and generative social science. "Artificial Life and Robotics", Vol. 1, Iss. 1, 1997.

¹⁸ <http://itwiz.pl/nowe-trendy-w-wykorzystaniu-analytyki-biznesowej/>, 13.07.2016.

3. Koszty przechowywania danych spadną – dane będą przystępne i czytelne w perspektywie dłuższego horyzontu czasowego, co wpłynie na szersze modelowanie danych na bazie sztucznej inteligencji.
4. AI zmieni sposób i zakres stylów uczenia się człowieka. AI wykorzysta wszystkie media dostarczania informacji, stosując różnorodne style uczenia się. Dane i raporty będą miały automatyczną narrację pisemną, ustną, a nawet opisującą kształt danych wybranych z wykresu. Również druk trójwymiarowy zacznie tworzyć wykresy i raporty dla kinestetyków. Specjalne ekrany umożliwią prezentację ogromnych zbiorów danych, pozwalając na wirtualne doświadczenia za pośrednictwem hologramów.
5. Konsumeryzacja AI oraz promocja własnych narzędzi analitycznych. Powszechność narzędzi analitycznych, udostępnianie ich pracownikom do użytku domowego przełoży się na wzrost kompetencji związanych z interpretacją danych, rozkwit narzędzi i uwspólnianie danych. Wszystko razem wygeneruje nowe usługi (w tym logistyczne) i start-upy.

Bibliografia

1. Bukowski L.: Zapewnienie ciągłości dostaw w zmiennym i niepewnym otoczeniu. Wyższa Szkoła Biznesu, Dąbrowa Górnicza 2016.
2. Chowdhury M. et al: Supply chain resilience to mitigate disruptions: a QFD approach. Association for Information Systems AIS Electronic Library (AISeL), PACIS 2001.
3. Epstein J.M., Axtell R.: Artificial societies and generative social science. "Artificial Life and Robotics", Vol. 1, Iss. 1, 1997.
4. Kałuski J.: Teoria gier. Politechnika Śląska, Gliwice 2002.
5. Kapczyński A. (red.): Innowacyjne metody i narzędzia wspomagające podejmowanie decyzji w zarządzaniu. WSB, Dąbrowa Górnicza 2010.
6. Knosala R.: Komputerowe wspomaganie zarządzania przedsiębiorstwem. PWE, Warszawa 2007.
7. Kramarz M., Kramarz W.: Modelowanie symulacyjne sieci dostaw jako złożonych systemów adaptacyjnych. „Logistyka”, nr 2, 2011.
8. Miller D.W, Starr M.K.: Praktyka i teoria decyzji. PWN, Warszawa 1971.
9. Modelewska P.: Rozwiązania IT dla transportu szynowego – relacja debaty, przegląd-its.pl/2014/04/17/rozwiązania-dla-transportu-szynowego-relacja-z-debaty-lunch-zkurierem.
10. Piegat A. (red.): Modelowanie i sterowanie rozmyte. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 1999.

11. Topolska K., Topolski M.: Inteligentne systemy logistyczne w produkcji samochodów i części zamiennych. Zeszyty Naukowe, s. Logistyka i Transport, Vol. 7, No. 2. Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu, Wrocław 2008.
12. Waters D.: Supply chain risk management: vulnerability and resilience in Logistics. Kogan Page Limited, London-Philadelphia 2007.
13. Wolny M.: Wspomaganie decyzji kierowniczych w przedsiębiorstwie przemysłowym. Politechnika Śląska, Gliwice 2007.
14. SUGAR. Podręcznik dobrych praktyk dla logistyki towarów w miastach, 2012, www.sugarlogistics.eu.
15. <http://www.phys.uni.torun.pl/~duch/Wyklady/AI/A17-1.ppt>.