

ZASTOSOWANIE SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH PODCZAS ROZMIESZCZANIA TOWARÓW W MAGAZYNIE SZTUKOWYM

© Kudelska I., 2016

Efektywność procesu magazynowania wpływa na przepływ materiałowy w przedsiębiorstwie jak również na funkcjonowanie całego łańcucha dostaw. Jednym z czynników utrudniających podejmowanie decyzji w sferze magazynowania jest alokacja towarów w strefie składowania. Dlatego też celem niniejszego badania jest opisanie zastosowania sztucznej sieci neuronowej w podejmowaniu decyzji rozmieszczenia towarów w magazynie. Przedmiotem niniejszego badania jest rozmieszczenie towaru w magazynie. Zastosowano symulację jako metodę badawczą, którą przeprowadzono na jednym studium przypadku. W badaniu omówiono wykorzystywane metody składowania, przedstawiono sztucznej sieci neuronowe, raprezentowano eksperyment wykorzystujący prostą sieć neuronową.

Słowa kluczowe: magazyn, rozmieszczenie towaru, sztuczne sieci neuronowe.

USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS DURING ALLOCATING GOODS IN WAREHOUSE

© Kudelska I., 2016

Efficiency of storage affects the flow of material in the enterprise as well as on the functioning of the entire supply chain. One of the factors hindering decision – making in the area of storage is the allocation of goods in the storage area. Therefore the aim of this research is to describe the use of artificial neural network in decision making arrangement of goods in the warehouse. The subject of this research is the distribution of goods in the warehouse. I use simulation as a method of research, which was conducted on a case study. At the article described the methods used storage, resetting of artificial neural networks, presents the experiment using a simple neural network.

Key words: warehouse, assignment, artificial neural network.

Wprowadzenie. Zarządzanie łańcuchem dostaw zależy od koordynacji, współpracy i działania wszystkich podmiotów i obiektów logistycznych w chodzących w skład danego łańcucha dostaw. Dlatego też każdy z tych elementów musi usprawniać swoje działania tak, aby materiały i towary mogły być szybko dostarczane klientom. Czas dostarczenia do klienta towarów, minimalizacja kosztów powodują, że coraz więcej uwagi poświęca się kwestii poprawy wydajności procesów magazynowych.

Na poprawę efektywności procesów magazynowych wpływają między innymi:

- sposób składowania,
- rozmieszczenie asortymentu w strefach funkcjonalnych,
- sposób kompletacji produkcji,
- sposób wyznaczania drogi kompletacji,
- dobór stosowanej technologii transportu wewnętrznego i wyposażenia niemechanicznego,
- zarządzanie zamówieniami.

Publikowane w literaturze przedmiotu zależności pozwalają stwierdzić, że czas operacji magazynowych jest między innymi proporcjonalny do drogi pokonywanej przez towar oraz wysokości, na

której jest umieszczany. Operacje przemieszczania stanowią według różnych autorów od ponad 36% do 60 % czasu kompletacji¹. Dlatego też tak ważne jest dla przedsiębiorstwa podejmowanie właściwych decyzji dotyczących minimalizacji czynności manipulacyjnych w magazynie jak również usprawnienie całego procesu magazynowania. Problem ten jest istotny z punktu widzenia kosztów generowanych z nieprawidłowych decyzji lokalizacji danego towaru w strefie składowania jak również z punktu czasu. Im dłużej poszukiwany jest towar w magazynie tym bardziej wydłuża się czas dostawy do odbiorcy, co również wpływa na poziom obsługi klienta.²

Dlatego też w niniejszym rozdziale główna uwaga skupiona zostanie na zagadnieniu rozmieszczenia towaru przy zastosowaniu sztucznej sieci neuronowej. W związku z tym został przeprowadzony eksperyment mający na celu ukazanie jak w prosty sposób sztuczna sieć neuronowa wspomaga decyzje związane z umieszczeniem danego towaru w strefie składowania. Zastosowanie tego typu narzędzi pozwoli na przydzielenie obszaru składowania według przyjętego kryterium w czasie rzeczywistym, co w znaczny sposób może ułatwić podejmowanie decyzji w obszarze magazynowania. Szybkie podjęcie decyzji spowoduje skrócenie czasu umieszczenia towaru w danym obszarze jak również skróci czas manipulacji, co wiąże się również zmniejszeniem kosztów magazynowych.

Rozdział podzielony jest na trzy części. W pierwszej części przeprowadzono i przedstawiono analizę literatury przedmiotu w której opisano stosowane metody składowania. W kolejnej części jest przybliżenie biologicznych podstaw narzędzi sztucznej inteligencji i ich zastosowaniem. W ostatniej części zaprezentowano studium przypadku wraz z podsumowaniem.

1. Metody rozmieszczenia towaru w strefie składowania. Istnieje wiele sposobów realizacji rozmieszczenia asortymentu w magazynie. Wypełnienie przestrzeni magazynowej składowanymi dobrami i optymalne jej wykorzystanie wymaga stosowania sprawnie funkcjonującego systemu orientacji przestrzennej, pozwalającego na szybkie i bezbłędne odszukanie pożądanego dobra.³

Prawidłowy sposób rozmieszczenia zapasów w strefie składowania powinien zapewniać:⁴

- wysoki stopień wykorzystania miejsc składowania w magazynie,
- szybką realizację zamówień,
- selektywne rozmieszczenie umożliwiające dostęp do każdego asortymentu,
- fizyczne rozdzielenie miejsc (przestrzeni) składowania poszczególnych asortymentów,
- efektywne wykorzystanie pojemności miejsc składowania,
- zabezpieczenie asortymentów drobnych przed niezamierzonym przemieszczaniem (wypadnięciem z gniazda regału),
- zapewnienie szybkiego odszukiwania wydanego asortymentu.

Istnieje wiele sposobów realizacji rozmieszczenia towaru w magazynie. Obecnie stosuje się kilka metod składowania rozmieszczenia dóbr materialnych w magazynie. Są to metoda stałych miejsc składowania, metoda wolnych miejsc składowania, metoda ABC/XYZ, metoda COI.⁵

Rozmieszczenie elementów metodą stałych miejsc składowania narzuca stałe przypisane miejsca dla konkretnego rodzaju towaru. Plusem takiego rozplanowania rozmieszczenia towarów w strefie ich składowania jest porządek w magazynie. Pracownik bez problemu może odnaleźć pożądaną towar, dzięki jasnej określonej z góry jego lokalizacji. Wadą takiego rozwiązania jest mało efektywne wykorzystanie zasobu magazynu.⁶

¹ Niemczyk A., Wybrane problemy efektywnego rozmieszczania towarów w magazynach, *Logistyka* 5/2011, s. 1185.

² Kłodawski M. Problem przydziału artykułów do lokacji w funkcji minimalizacji kosztów obiektów logistycznego, *Logistyka* 4/2014, s. 1987.

³ Korzeniowski A. Zarządzanie gospodarką magazynową, PWE, Warszawa 1997, s. 15.

⁴ Dudziński Z., Kizyn M. *Vademecum gospodarki magazynowej*, Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr Sp. z o. o., Gdańsk, 2002, s. 219.

⁵ Kudelska I., Kudelska K. Zarządzanie magazynem z wykorzystaniem sieci neuronowych, [w:] *Rozwój i doskonalenie funkcjonowania organizacji*, [red.] P. Pyłacz, D. Dudek, Wydawnictwo Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2016, s. 120–131.

⁶ Krystek J. Analiza procesu magazynowania w magazynie wysokiego składowania, s. 622 http://www.ptzp.org.pl/s81/Konferencja_KZZ_Zakopane_2011_Artykuly (dostęp dn.: 23.04.2015)

Rozmieszczenie towaru metodą wolnych miejsc składowania zapewnia lepsze wykorzystanie przestrzeni strefy składowania. Wprowadza jednak pozorny bałagan, gdyż nie jest łatwo zlokalizować poszukiwanej jednostki. Pozorny, ponieważ z pomocą personelowi magazynu przychodzą dziś systemy informatyczne, w których jednym z zadań jest zbieranie i przechowywanie informacji o posiadanym towarze. Są one więc w stanie wskazać pracownikowi dokładną lokalizację wybranego towaru. Metoda ta pozwala na lepsze wykorzystanie przestrzeni magazynu. Wzrost efektywności wykorzystania miejsc składowania w magazynie szacuje się nawet na poziomie 20 do 25 procent.⁷

Na podstawie metody ABC/XYZ wszystkie artykuły dzielone są na trzy grupy (klasy). W klasie A znajdują się artykuły najszybciej rotujące, w klasie B średnio-rotujące, natomiast w klasie C wolno-rotujące. Następnie całymi klasami są one przydzielane do miejsc składowania. I tak artykuły z klasy A lokalizowane są najbliżej punktu zdawczo - pobraniowego a następnie klasy B i C. Przydzielanie artykułów do miejsc oferowania wewnątrz klas jest losowe.

Metoda XYZ jest pewną odmianą metody Pareto (ABC) charakteryzującą się tym, iż asortyment przydzielany jest odpowiednio do klas X, Y oraz Z na podstawie przewidywanej regularności zapotrzebowania klientów (regularności pobrań ze strefy komisjonowania) na dany rodzaj asortymentu lub przewidywanej regularności wielkości jego zapotrzebowania (równomierności liczby pobieranych sztuk asortymentu). Pozycje asortymentowe o niewielkich wahaniami częstości i/lub wielkości pobrań grupowane są w klasie X, a te o charakterze większych wahań sezonowych i bardzo nieregularnym przepływie przydzielane są odpowiednio do klas Y oraz Z.⁸

Metoda ABC/XYZ jest kombinacją obu wcześniej omówionych metod. Jednostki asortymentowe przydzielane są w pierwszej kolejności do klasy A, B, C a następnie do grupy X, Y, Z. w dalszej kolejności są łączone w następujące grupy: AX, AY, AZ, ..., CY, CZ. W ten sposób sklasyfikowane towary stanowią podstawę do kolejnego przydzielenia miejsc w strefie składowania.

Metody te są stosunkowo proste do wdrożenia a ich wykonanie w oparciu o wcześniej przygotowane dane nie zajmuje dużo czasu. I choć są podstawowymi metodami to jednak nie zawsze są wystarczająco efektywnymi.⁹

W zagranicznej literaturze przedmiotu można spotkać metodę COI. Metoda została opisana 1963 roku przez Hesketta.¹⁰ Zgodnie Caron, Marchet i Perego¹¹ w metodzie przyjmowana jest wielkość produktu, popyt. Autorzy w swoich badaniach dążyli do minimalizacji całkowitego czasu kompletacji, który obejmował trzy główne składniki:

- czas przejazdu poniesiony podczas kompletacji zamówienia czyli od poszczególnych miejsc składowania asortymentu do punktu wejścia/wyjścia,
- czas przetwarzania w punktach lokalizacyjnych, czyli czas potrzebny na wykonanie zadania, np. poszukiwanie lokalizacji, manipulacja asortymentem,
- czas tzw. administracyjny¹², czyli czas przeznaczony na zarządzanie dokumentacją, gromadzeniem informacji.

Zostaje obliczony współczynnik w celu rozmieszczenia produktów taki sposób, aby te o najniższym współczynniku znajdowały się jak najbliżej punktu wejścia/wyjścia skrócić drogę pokonywaną przez najcięższe czy też największe produkty. W ten sposób autorzy uzależnili wielkości towaru od popytu. Planując drogę kompletacji od najdalszego punktu względem strefy wydań unika się częstych zmian kolejności na wózku kompletacyjnym co w efekcie jest plusem dla tej metody. Niestety metoda ta wymaga ciągłego monitorowania co przy słabym wyposażeniu komputerowym magazynu jest jej minusem.

⁷ Krystek J. Analiza procesu magazynowania w magazynie wysokiego składowania, s. 622 http://www.ptzp.org.pl/s81/Konferencja_KZZ_Zakopane_2011_Artykuly (dostęp dn.: 23.04.2015)

⁸ Kłodawski M. Problem przydziału artykułów do lokacji w funkcji minimalizacji kosztów obiektu logistycznego, *Logistyka* 4/2014, s. 1988.

⁹ Lorenc A. K. Planowanie rozmieszczania produktów w magazynie – najnowsze rozwiązania i trendy rozwojowe, *Logistyka* 3/2014, s. 3838–3839.

¹⁰ Heskett J. L. Cube-per-order index-a key to warehouse Stock location, *Transportation and Distribution Management*, 3/1963, p. 27–31.

¹¹ Caron F., Marchet G., Perego A. Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems, *International Journal of Production Research*, 1998, Vol. 36, No. 3, p. 713–732.

¹² j.w.

2. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych. Współcześnie wyróżnia się wiele metod i technik uznawanych za metody sztucznej inteligencji. Do tych metod zalicza się sztuczne sieci neuronowe. Metoda ta cechuje się „samouczącymi się procedurami” które umożliwiają ciągłe automatyczne uwzględnianie stale zmieniających się danych.

Sztuczne sieci neuronowe oparte są na istocie działania biologicznego systemu nerwowego. Neuron składa się z ciała komórki oraz dwóch rodzajów wypustek. Wypustki nazywane są dendrytami i są rozgałęzionymi strukturami służącymi do transmisji sygnałów od innych neuronów do ciała komórki. Natomiast do transmisji sygnału z ciała komórki do innych neuronów służy jedna wypustka nazywana aksonem.^{13,14,15} Komunikacja między neuronami (w postaci impulsów nerwowych) odbywa się za pomocą synaps. Właściwości transmisyjne synaps są regulowane przez substancje chemiczne, które są nazywane neurotransmiterami. Dzięki temu część synaps staje się synapsami pobudzającymi, które wpływają bezpośrednio na zwiększenie pobudliwości neuronu a część synapsami hamującymi, które zmniejszają tę pobudliwość¹⁶.

Z cybernetycznego punktu widzenia neuron biologiczny można traktować jako specyficzny przetwornik sygnałów. Jest to układ o wielu wejściach i jednym wyjściu jak jest to przedstawione na rysunku 1 (Rys. 1)¹⁷.



Rys. 1 Cybernetyczny model neuronu

Źródło: (Korbicz, 1994, s. 23; Tadeusiewicz, 2007, s. 69)

Neurony sztucznej sieci neuronowej tworzą: warstwę wejściową, warstwę wyjściową i warstwę ukrytą. Warstwa wejściowa nie uczestniczy bezpośrednio w pracy sieci neuronowej a jedynie dostarcza do niej informacje dotyczące rozwiązywanego problemu. Warstwa wyjściowa stanowi wynik rozwiązania problemu, natomiast właściwą częścią sztucznej sieci neuronowej jest warstwa ukryta. Trudno jest określić z ilu neuronów powinna składać się sztuczna sieć neuronowa, ponieważ zbyt mała ich liczba powoduje szybkie przetwarzanie informacji jednakże jakość odpowiedzi sieci może być dla użytkownika niezadawalająca. Natomiast większa liczba neuronów to zbyt długi czas przetwarzania informacji.¹⁸

Sztuczne sieci neuronowe są wykorzystywane w różnych obszarach. Jednym z takich obszarów jest przewidywanie zmian wahań cen akcji na giełdzie. Ponadto znalazły również swoje zastosowanie w medycynie, jak również zagadnieniach z rozpoznawaniem kształtu lub obrazów, w kontroli procesów technologicznych. Jednakże podanie tylko tych niektórych przykładów nie oznacza, iż sztuczne sieci neuronowe rozwiążą każdy problem i można je wszędzie zastosować. Sztuczne sieci neuronowe nie da się zastosować w obliczeniach w których wymagana jest bardzo wysoka dokładność wyniku numerycznego. Zaletą sztucznych sieci neuronowych jest ‘wydobywanie’ zależności i interakcji pomiędzy predyktorami. Swoje zastosowanie znalazły również w obszarze magazynowania.

Sztuczne sieci neuronowe zostały wykorzystane przez Fei-Long Chen, Yun-Chin Chen i Jun-Yuan Kuo do prognozowania zapotrzebowania na części do maszyn, które są niezbędne w działaniu tychże maszyn. Części do maszyn są elementami drogimi a popyt jest nieznanym. Dlatego dla autorów ważne było

¹³ Flasiński M. Wstęp do sztucznej inteligencji, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2011, s. 159–161.

¹⁴ Korbicz J., Obumowicz A., Uciński D. Sztuczne sieci neuronowe. Podstawy i zastosowania, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, 1984, s. 22.

¹⁵ Łęski J. Systemy neuronowe – rozmyte, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa, 2008, s. 198–200.

¹⁶ Flasiński M. Wstęp do sztucznej inteligencji, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2011, s. 160.

¹⁷ Korbicz J., Obumowicz A., Uciński D. Sztuczne sieci neuronowe. Podstawy i zastosowania, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, 1994, s. 23.

¹⁸ E. Pająk, Zarządzanie produkcją. Produkt, technologia, organizacja, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006, s. 292–293.

aby opracować sposób prognozowania. Autorzy w swoich badaniach wykorzystali wsteczną propagację oraz zbiory rozmyte i szare.

Natomiast Quansheng Lei, Jian Chen i Qing Zhou¹⁹ zastosowali sztuczne sieci neuronowe do klasyfikacji. W pierwszej metodzie sklasyfikowali zapasy aby w drugiej metodzie wyodrębnić główne komponenty.

3. Studium przypadku. W niniejszym przykładzie obiektem badań jest proces składowania a przedmiotem badań jest rozmieszczenie towaru w magazynie. Celem badania jest ukazanie jak w prosty sposób sztuczna sieć neuronowa może wspomagać proces przydzielania asortymentu do danego obszaru w magazynie.

W przedsiębiorstwie podstawową grupą asortymentową są obudowy teleinformatyczne jednakże asortyment jest bardzo zróżnicowany, około 70 pozycji.

Do klasyfikacji jako podstawę wybrano klasyfikację ABC która różnicuje produkty występujące w przedsiębiorstwie z punktu widzenia udziału wartościowego danej grupy. Pozwala ona w ten sposób wyłonić grupę towarów z całości i przydzielić obszar w strefie składowania najbliższej punktu wydania. Według tradycyjnej metody ABC pierwszym krokiem jest zestawienie danych, która obejmuje:

- nazwę towaru,
- ilość – x_1, \dots, x_n
- cenę jednostkową – c_1, \dots, c_n
- wartość – w_1, \dots, w_n przy czym $n = 1, \dots, n$

Następnie oblicza się procentowy udział w wartości całkowitej oraz skumulowany wskaźnik udziału procentowego w celu przydzielenia w ostatnim kroku danego towaru do grupy. Najczęściej przyjmuje się, że grupa A obejmuje towary o udziale wartościowym sięgającym 70–80 % całości. Grupa B obejmuje towary których udział w ogólnych kosztach materiałowych wynosi 15 % natomiast udział ilościowy kształtuje się na poziomie 30 %. Co do grupy C obejmuje towary o niskiej wartości i ich udział w ogólnych kosztach kształtuje się na poziomie około 5 %, a udział ilościowy wynosi około 50 %.

Symulację przeprowadzono z wykorzystaniem gotowych algorytmów sieci neuronowych w oprogramowaniu Statistica 12. Po przeprowadzeniu symulacji program zachował listę najlepszych modeli sieci (Rys. 2).

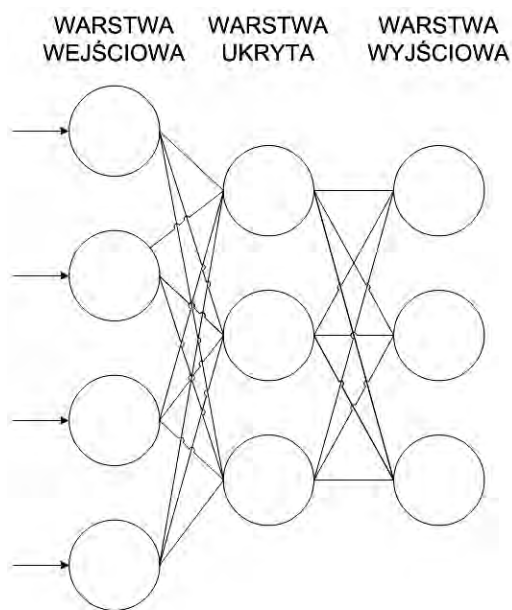
ID sieci	Nazwa sieci	Jakość (ucz...	Jakość (test...	Jakość (wali...	Algorytm
1	MLP 4-10-3	91,176471	92,307692	90,000000	BFGS 10
2	MLP 4-10-3	100,000000	84,615385	100,000000	BFGS 23
3	MLP 4-3-3	100,000000	92,307692	100,000000	BFGS 30
4	MLP 4-10-3	97,058824	76,923077	100,000000	BFGS 11
5	MLP 4-10-3	100,000000	84,615385	100,000000	BFGS 18

Rys. 2 Najlepsze modele sieci neuronowe

Źródło: Opracowanie własne

¹⁹ Lei Q., Chen J., Zhou Q. Multiple Criteria Inventory Classification Based on Principal Components Analysis and Neural Network, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005, p. 1058–1063.

W badaniu wykorzystano strukturę sieci przedstawionej na rysunku 3 czyli Perceptron wielowarstwowy MLP 4-3-3.



Rys. 3 Struktura sieci

Źródło: Opracowanie własne

Perceptron posiada 3 neurony w warstwie ukrytej oraz wyjściowej oraz 4 neurony w warstwie wejściowej. Jakość tej sieci dla danych uczących wynosi 100 % a dla testowych 92 %. Do jej uczenia wykorzystany był algorytm BFGS z funkcją CE przy czym optymalne rozwiązanie otrzymano dopiero przy 30 kroku.

W modelu klasyfikacyjnym SSN zmienne wyjściowe reprezentują rozpoznaną grupę (A, B, C) czyli obszary w strefie składowania w magazynie. Zmienne wejściowe do modelu mają charakter zmiennych ilościowych.

Po utworzeniu sieci należy dokonać jej oceny. Nie powinno dążyć się do budowania zbyt złożonej struktury sieci. Wynikiem działania sieci jest zaklasyfikowanie towaru do danej grupy (A, B, C). Ponieważ do utworzenia modelu sieci wykorzystano oprogramowanie Statistica, informacje związane z odsetkiem przypadków poprawnie oraz błędnie sklasyfikowanych znajdują się w Statystykach opisowych. Statystyki te ukazują wszystkie dane lub w rozbiciu na poszczególne podzbiory. Ponadto o sposobie funkcjonowania sieci klasyfikującej wykorzystano informacje w macierzy pomyłek (Rys. 4).

		Grupa (Podsumowanie klasyfikacji) (analiza ABC)			
		Próby: Uczenie, Test, Walidacja			
		Grupa-A	Grupa-B	Grupa-C	Grupa-Wszystkie
3.MLP 4-3-3	Razem	13,0000	17,0000	37,00000	67,00000
	Poprawne	13,0000	17,0000	36,00000	66,00000
	Niepoprawne	0,0000	0,0000	1,00000	1,00000
	Poprawne (%)	100,0000	100,0000	97,29730	98,50746
	Niepoprawne (%)	0,0000	0,0000	2,70270	1,49254

Rys. 4 Okno macierzy pomyłek

Źródło: Opracowanie własne

Analiza zawartości pozwala określić liczbę przypadków w których sieć zachowała się błędnie. Ponadto macierz ta informuje również o rodzaju i częstości popełnianych błędów. Jak wynika z rysunku 7 w grupie C sieć zdefiniowała źle jeden towar co wyniku dało 2,7 % błędu.

Podsumowanie. Rozmieszczenie towaru w magazynie jest zagadnieniem bardzo istotnym gdyż wpływa na czas kompletacji. Jednocześnie krótszy czas kompletacji wpływa na czas obsługi zamówienia. Podejmowana decyzja związana z przyszłą lokalizacją danego towaru odbywa się w warunkach niepewności, ponieważ nie jest znany popyt na dany towar, co zwiększa ryzyko podjęcia niewłaściwej decyzji.

Powyższy rozdział realizuje cel główny, jakim jest ukazanie zastosowania narzędzi sztucznej inteligencji w obszarze magazynowania. Badania te wykazały użyteczność sztucznych sieci neuronowych w strefie składowania. A wyniki tej symulacji stanowią podstawę do dalszych badań w tym obszarze. Bardzo ważnym elementem który w przyszłości będzie stanowił podstawę będzie powiększenie ilości kryteriów choćby o rotację danego towaru. Co pozwoli na jeszcze dokładniejszą analizę. Ponadto algorytm można rozbudować o algorytm przygotowujący dane wejściowe do sieci neuronowej co w efekcie pozwoli na uzyskanie uniwersalności tego narzędzia, gdyż na tym etapie wszystkie dane wejściowe były znormalizowane do jednej jednostki składowania. Poza tym w powyższym studium przypadku sztuczna sieć neuronowa wspomaga tylko decyzje związane z wyborem obszaru w strefie składowania dlatego w dalszych etapach badań należałoby zastanowić nad rozwiązaniem problemu przypisania towaru w danych obszarze do konkretnych lokalizacji z uwzględnieniem konkretnego kryterium.

1. Caron F., Marchet G., Perego A. *Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems*, *International Journal of Production Research*, 1998, Vol. 36, No. 3. 2. Dudziński Z., Kizyn M. *Vademecum gospodarki magazynowej, Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr Sp. z o. o., Gdańsk*, 2002. 3. Flasiński M., *Wstęp do sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2011. 4. Heskett J. L. *Cube-per-order index-a key to warehouse Stock location*, *Transportation and Distribution Management*, 3/1963. 5. Kisperska – Moroń D., Krzyżaniak S. (red.), *Logistyka, Instytut Logistyki i Magazynowania*, Poznań 2009. 6. Kłodawski M., *Problem przydziału artykułów do lokacji w funkcji minimalizacji kosztów obiektu logistycznego*, *Logistyka* 4/2014. 7. Korbicz J., Obumowicz A., Uciński D., *Sztuczne sieci neuronowe. Podstawy i zastosowania*, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, 1994. 8. Korzeniowski A. *Zarządzanie gospodarką magazynową*, PWE, Warszawa 1997. 10. Kudelska I., Kudelska K. *Zarządzanie magazynem z wykorzystaniem sieci neuronowych*, [w:] *Rozwój i doskonalenie funkcjonowania organizacji*, [red.] P. Pyłacz, D. Dudek, Wydawnictwo Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2016. 11. Lei Q., Chen J., Zhou Q. *Multiple Criteria Inventory Classification Based on Principal Components Analysis and Neural Network*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005. 12. Lorenc A. K. *Planowanie rozmieszczania produktów w magazynie – najnowsze rozwiązania i trendy rozwojowe*, *Logistyka* 3/2014. 13. Łęski J. *Systemy neuronowo – rozmyte*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa, 2008. 14. Niemczyk A. *Wybrane problemy efektywnego rozmieszczania towarów w magazynach*, *Logistyka* 5/2011. 15. Pająk E., *Zarządzanie produkcją. Produkt, technologia, organizacja*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006. 16. URL Krystek J., *Analiza procesu magazynowania w magazynie wysokiego składowania*, s. 622 http://www.ptzpz.org.pl/s81/Konferencja_KZZ_Zakopane_2011_Artykuly (dostęp dn.: 23.04.2015)