

dr hab. inż. Marek Karkula
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica
Wydział Zarządzania
ul. Gramatyka 10, 30-067 Kraków
☎ 12 617 43 30
✉ mkarkula@zarz.agh.edu.pl

Kraków, 20.06.2016

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej **mgra inż. Augustyna Lorenca**, pt.:

Wpływ metody klasyfikacji produktów na efektywność transportu wewnątrzmagazynowego

Promotor rozprawy doktorskiej: dr hab. inż. Andrzej Szarata, prof. PK

Podstawa formalna opracowania recenzji: pismo Pana Prof. dr hab. inż. Tadeusza Tatary, Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej (C000.520/550/2016 z dnia 20 maja 2016 roku).

1. Uwagi wstępne, ocena trafności wyboru i aktualności tematyki rozprawy

Prawa gospodarki rynkowej, wymóg konkurencyjności i stale rosnące oczekiwania klientów wymuszają na przedsiębiorstwach poszukiwanie działań umożliwiających redukcję kosztów działalności gospodarczej. Postulat obniżania kosztów dotyczy również aktywności logistyczno-transportowej, a znaczenie racjonalizacji i optymalizacji rozwiązań w tej sferze nabiera szczególnego znaczenia, jeżeli weźmie się pod uwagę znaczny udział kosztów procesów transportowych i logistycznych w kosztach przedsiębiorstw.

Obiekty magazynowe, centra dystrybucyjne i logistyczne to elementy infrastruktury punktowej systemu logistyczno-transportowego, których znaczenie gospodarcze ciągle wzrasta. Obiekty te występują jako ogniwa łańcuchów dostaw na drodze pomiędzy producentami a odbiorcami, a prawidłowo zorganizowane procesy w nich zachodzące mogą być czynnikiem współtworzącym przewagę konkurencyjną przedsiębiorstwa.

Rozprawa doktorska mgra inż. Augustyna Lorenca stanowi próbę wzbogacenia metodyki sterowania procesami logistycznymi w obiektach magazynowych o elementy bazujące na modelach sztucznych sieci neuronowych wykorzystanych do klasyfikacji produktów w magazynie oraz autorskich algorytmach symulacyjnych umożliwiających ocenę procesu kompletacji zamówień.

Tematykę rozprawy należy uznać za oryginalną oraz istotną zarówno ze względów poznawczych, jak i praktycznych, szczególnie biorąc pod uwagę, że:

- analiza stanu zagadnienia (*state of art*) wskazuje, że brak jest w literaturze polskiej prezentacji metod i modeli pozwalających na całościową i wielokryterialną ocenę wpływu sposobu składowania na wydajność procesów kompetencji zamówień w magazynie,
- stosowane w praktyce przedsiębiorstw modele sterowania procesami w obiektach magazynowych nie uwzględniają w pełni dorobku i możliwości tkwiących w modelach bazujących na sztucznych sieciach neuronowych w szczególności w odniesieniu do procesu składowania towarów.

Uwzględniając powyższe rozwiązanie postawionego w pracy problemu należy postrzegać je jako próbę wypełniania istniejącej w tym zakresie luki teoretyczno-metodologicznej i empirycznej.

2. Ogólna charakterystyka treści pracy, analiza poprawności struktury i merytoryczna praca

Treść rozprawy została przedstawiona na 163 stronach, składają się na nią: streszczenia w języku polskim i angielskim, siedem rozdziałów, 80 rysunków, 57 tabel, zestawienie literatury, spisy rysunków i tabel oraz załącznik, w którym zaprezentowana została aplikacja będąca implementacją omawianych w pracy metod i modeli.

Wyniki zaprezentowane w pracy są efektem badań prowadzonych przez Autora, wspartych starannym rozpoznaniem literaturowym. Większość z przytoczonych w spisie literatury pozycji jest cytowana w tekście rozprawy. Dobór literatury, w ilości 136 pozycji (polskich i anglojęzycznych), jest właściwy i świadczy o dobrej znajomości piśmiennictwa polskiego i zagranicznego. Moim zdaniem pozycje literaturowe należałoby uzupełnić o pozycję J. Fijałkowskiego „Transport wewnętrzny w systemach logistycznych. Wybrane zagadnienia”, Wyd. Politechniki Warszawskiej, 2003.

W **pierwszym, wprowadzającym rozdziale** Autor na podstawie cytowanej literatury przedstawił definicje kluczowych dla dysertacji pojęć, dotyczących przede wszystkim procesów magazynowych. Moim zdaniem niepotrzebnie wprowadzono bardzo ogólne, a niewnoszące wiele do pracy definicje pojęcia optymalizacji – Autor nie realizował w pracy modeli optymalizacyjnych. Niezbyt fortunnie przytoczone są także definicje efektywności, która w literaturze naukowej jest przedmiotem wielu dyskusji i analiz. W tej części pracy wskazano także przesłanki wyboru tematu pracy, sformułowano cele oraz tezy rozprawy.

Dyskusyjne wydaje się być stwierdzenie Autora, że „... *magazyn jest „złem koniecznym”...*”. Obecnie można wskazać wiele obiektów magazynowych, które generują zyski.

Niewątpliwie należy zgodzić się z Doktorantem, który twierdzi, że „... *odpowiednie zaplanowanie układu magazynu oraz rozmieszczenie w nim produktów stanowi duże wyzwanie dla wielu przedsiębiorstw*”. Działania te są złożone i aby podejmowane decyzje były skuteczne wymagają uwzględnienia wielu kryteriów. Złożoność procesu decyzyjnego w tym obszarze wynika przede wszystkim z dużych wahań popytu, szerokiego asortymentu produktów oraz ich krótkich cykli życia.

W pierwszym rozdziale dysertacji Autor sformułował dwa cele naukowe:

- 1) „.... przeprowadzenie analiz i zaproponowanie metody oceny wpływu różnych kryteriów decyzyjnych i metod klasyfikacji oraz planowania rozmieszczenia towarów w magazynie na czas procesu kompletacji w procesie magazynowania”
- 2) „wykazanie możliwości zwiększenia efektywności funkcjonowania magazynu w wyniku wielokryterialnej optymalizacji rozmieszczenia towarów z zastosowaniem modelu działającego w oparciu o sztuczne sieci neuronowe”.

Realizacja tak sformułowanych celów została podporządkowana weryfikacji tez badawczych, w tym tezy głównej w brzmieniu:

Możliwe jest wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do klasyfikacji produktów w celu rozlokowania ich w magazynie, co poprawi – w stosunku do stosowanych obecnie metod – efektywność procesu kompletacji zamówień.

Uważam, że Doktorant jasno i jednoznaczny określił cele badań, koncentrując się na wybranej grupie procesów realizowanych w obiektach magazynowych. Wyrażam także pogląd, że teza pracy w przytoczonym powyżej brzmieniu została określona prawidłowo. Również tezy szczegółowe określone przez Autora uważam za prawidłowe.

Rozdział drugi zatytułowany „Składowanie, klasyfikacja i rozmieszczanie produktów w magazynie” ma charakter sprawozdawczy stanowiący teoretyczne wprowadzenie do omawianych w rozprawie zagadnień związanych z procesem składowania towarów w magazynie. Doktorant kolejno opisuje typy magazynów, ich układy technologiczne i strefy funkcjonalne oraz podstawowe technologie składowania produktów w magazynie. Uważam, że można skrócić pewne zbyt obszerne fragmenty tej części rozdziału, które z punktu widzenia prezentowanych wyników badań są mało istotne, m.in. podrozdziały:

- 2.1.1. Układ magazynów
- 2.1.2 Składowanie rzędowe a składowanie blokowe
- 2.1.4 Wybrane wskaźniki wykorzystywane do oceny stopnia wykorzystania magazynu

Obszerą część rozdziału stanowi charakterystyka metod klasyfikacji produktów przedstawiona w podrozdziale 2.2. Tytuł tego podrozdziału powinien wg mnie brzmieć „Metody planowania rozmieszczenia produktów” zamiast „Metody planowania i rozmieszczenia produktów”. Autor przedstawił szczegółową charakterystykę najważniejszych metod klasyfikacji oraz dokonał przeglądu literatury dotyczącej nowoczesnych metod bazujących na wybranych algorytmach optymalizacyjnych, heurystycznych oraz modelach sztucznej inteligencji. Za cenne należy uznać zaprezentowane porównanie przedstawionych metod oraz ich krytyczna ocena, a przedstawione wnioski świadczą o dobrym rozeznaniu Doktoranta stanu zagadnienia w tym obszarze.

Tematem **rozdziału trzeciego** pt. „Transport wewnątrzmagazynowy – kompletacja produktów” są procesy kompletacji zamówień. Są to z reguły najbardziej kosztotwórcze procesy w magazynie, mające wpływ na poziom obsługi klienta. Autor skoncentrował się na przedstawieniu zagadnień teoretycznych w oparciu o badania literaturowe dotyczących kompletacji według zasady „człowiek do towaru”. Opisane zostały zasady

pobierania/wydawania towarów w procesie kompletacji (FIFO, LIFO, FEFO) oraz najważniejsze metody kompletacji zamówień. Uważam, że zbyt ogólnikowo zaprezentowano zagadnienia dotyczące środków transportu wykorzystywanych w procesie kompletacji zamówień, zważywszy na tytuł rozdziału, który sugeruje, że omówione zostaną szerzej problematyka transportu wewnątrzmagazynowego. W końcowym fragmencie rozdziału Doktorant na podstawie aktualnego stanu wiedzy zestawiał najważniejsze informacje dotyczące wykorzystania technik automatycznej identyfikacji i rozwiązań wspomagających procesy kompletacji. Autor podjął również próbę określania miar oceny procesów kompletacji oraz sformułował wnioski, z których wynika, że ich wykorzystanie do dalszych analiz jest utrudnione przede wszystkim ze względu na brak rzetelnych danych.

W **rozdziale czwartym** zatytułowanym „Model symulacji i oceny efektywności procesu kompletacji zamówień” Doktorant zaprezentował wyniki badań własnych oraz autorski algorytm oceny procesu kompletacji zamówień. Jako kryterium oceny przyjęto czas realizacji procesu, co należy uznać za słuszną decyzję Doktoranta. Autor sformułował założenia dla modelu, a następnie przedstawił model matematyczny odwzorowujący strukturę magazynu. Należy podkreślić, że zaproponowany model ma uniwersalny charakter i może być stosowany dla typowych obiektów magazynowych z rzędowym systemem przechowywania towarów. Następnie został szczegółowo omówiony wieloetapowy algorytm wyznaczania czasu kompletacji zamówień, umożliwiający przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych. Dokładniejszego wyjaśnienia wymaga mechanizm generowania list kompletacyjnych wykorzystywanych w późniejszych badaniach symulacyjnych.

Rozdział piąty pt. „Ocena wpływu doboru kryteriów klasyfikacji produktów na czas procesu kompletacji zamówień” stanowi konsekwentną kontynuację badań własnych Autora dysertacji. Doktorant zaprezentował dyskusję wyników przeprowadzonych badań symulacyjnych dotyczących oceny wpływu przyjętych kryteriów klasyfikacji produktów (popularność, waga, objętość, liczba sprzedanych sztuk) na czas kompletacji. Ocena dotyczyła tradycyjnych metod klasyfikacji produktów (ABC, ABC+XYZ, indeks COI). Autor w ramach eksperymentów wyróżnił dwa warianty sposobu kompletacji oraz dwa typy magazynów. Z uznaniem należy ocenić tę część rozdziału, w której Doktorant prezentuje analizy statystyczne wyników symulacji. Na pozytywną ocenę ma wpływ bogaty materiał ilustracyjny oraz tabelaryczny ułatwiający czytelnikowi interpretację wyników i zrozumienie omawianych problemów.

W kolejnym, **szóstym rozdziale** pt. „Ocena wpływu doboru metody klasyfikacji produktów na czas procesu kompletacji zamówień” zaprezentowano trzy autorskie metody klasyfikacji produktów: metodę podziału na klasy z uwzględnieniem wzajemnych powiązań, metodę wykorzystującą dynamiczne granice klas oraz algorytm bazujący na modelu sztucznych sieci neuronowych. Ta część pracy stanowi oryginalny wkład Autora i zasługuje na wysoką ocenę. Analizy opracowanych metod wykazały znacznie wyższą skuteczność w porównaniu do klasycznych metod, których ocenę Doktorant przeprowadził w rozdziale piątym. Szczególnie obiecujące wyniki wskazano dla algorytmu wykorzystującego modele sztucznych sieci neuronowych. Przedstawiony model bazował na architekturze sieci jednokierunkowych (ang. *feed-forward*), wykorzystujących algorytmy uczenia pod nadzorem (ang. *supervised learning*). W tekście rozprawy brak jest analizy lub komentarza dotyczącego możliwości zastosowania innych architektur sztucznych sieci neuronowych dedykowanych do zagadnień klasyfikacyjnych, m.in.: sieci o radialnych funkcjach bazowych (RBF), sieci probabilistycznych

(PNN), sieci realizujących regresję uogólnioną (GRNN) lub sieci samoorganizujących się (SOM), tzw. sieci Kohenena. W związku z tym nasuwa się pytanie do Doktoranta, czy takie architektury były testowane, bądź brane pod uwagę do rozwiązania badanego w pracy problemu. Kolejne pytanie do Autora pracy dotyczy oceny jakości zbudowanego modelu neuronowego. Modele takie dają często bardzo dobre wyniki, ale są wrażliwe na jakość danych wykorzystanych w procesie ich uczenia. W pracy nie uszczegółowiono algorytmu lub metody standaryzacji danych pierwotnych (tzw. preprocessingu). Chciałbym się także dowiedzieć jak podzielono dostępne dane – w praktyce należy wykorzystać trzy zbiory: uczący, walidacyjny i testowy. Taki podział danych pozwala na monitorowanie błędu działania sieci w trakcie jej uczenia i reakcję algorytmu na objawy przeuczenia sieci. Powyższe uwagi nie umniejszają bardzo dobrego wrażenia, które można odnieść po lekturze tego rozdziału. Niewątpliwie pozytywnym elementem tej części dysertacji jest przedstawiona ocena korzyści ekonomicznych wynikających z zastosowania badanych metod. Analiza została przeprowadzona przy założonych danych kosztowych dla badanych obiektów magazynowych.

Rozprawę zamyka **rozdział siódmy** pt, „Podsumowanie i wnioski”. Zaprezentowane wnioski zostały sformułowane na podstawie wykonanych analiz i badań przemysłowych. Doktorant określił także kierunki dalszych badań własnych, m.in. badania innych metod klasyfikacji (algorytmy genetyczne, logika rozmyta), analizy zastosowania proponowanych rozwiązań dla innych typów obiektów magazynowych (zautomatyzowanych, wykorzystujących inne metody kompletacji zamówień).

W **załączniku** do pracy Doktorant szczegółowo opisał wielomodułową aplikację komputerową SPKZ, będącą implementacją prezentowanych w dysertacji modeli i algorytmów. Program został napisany z wykorzystaniem nowoczesnego języka PHP i umożliwia m.in. odwzorowanie topologii magazynu w zapisie modelu matematycznego, realizację klasyfikacji produktów składowanych w magazynie, wykonanie symulacji rozmieszczenia towarów oraz procesu kompletacji zamówień.

3. Uwagi krytyczne

Bardzo dobre wrażenie, które można odnieść się po lekturze rozprawy nie zwalnia recenzenta od sformułowania pewnych krytycznych uwag. W recenzowanej pracy Doktorant nie ustrzegł się usterek i błędów przede wszystkim redakcyjnych i stylistycznych. Nasuwają się także pewne pytania i oczekiwałbym odpowiedzi na nie podczas publicznej obrony.

Pytania i spostrzeżenia ogólne

- 1) W jaki sposób Doktorant dobierał do eksperymentów symulacyjnych zbiór zleceń, z których generowane były listy kompletacyjne?
- 2) W opisie algorytmu symulacyjnego Autor podaje, że „... posłużono się metodą odzwierciedlającą zamówienia klientów ... wykorzystującą losowe listy kompletacji produktów. W związku z powyższym proszę przybliżyć mechanizm losowości wykorzystany w modelu symulacyjnym i podać jakie rozkłady prawdopodobieństw były wykorzystane do generowania list kompletacji.
- 3) Prosiłbym o doprecyzowanie informacji dotyczących prezentowanego modelu sztucznych sieci neuronowych: jakie były podstawowe parametry uczenia sieci,

tj. liczba epok, rozmiar zbioru danych uczących oraz jakie błędy uczenia uzyskano dla najlepszych przypadków.

- 4) Czy Doktorant rozważał lub rozważa zastosowanie profesjonalnych pakietów symulacyjnych umożliwiających dokładne odwzorowanie procesów kompletacji z uwzględnieniem losowości, awaryjności i innych czynników oraz zbudowanie modeli dla magazynów o dowolnej wielkości i strukturze?

Uwagi szczegółowe

- 1) Na str. 7, w 7d Autor pisze: „... z przeprowadzonych w rozprawie rozważań zawarto w rozdziale dziewiątym”. Sądzę, że chodzi tutaj o rozdział siódmy.
- 2) Na str. 12, w 1g zamiast „skorygowanie wielkości podaży i popytu...” raczej powinno być „wyrównanie dysproporcji między podażą a popytem...”
- 3) W podrozdziale 1.2 (Geneza pracy) na str. 12 oraz 14 Autor powołuje się na badania realizowane w XIX wieku – wydaje się, że chodziło o wiek XX.
- 4) Na str. 31, w 10g – w tekście Autor pisze: „współczynnik określający wykorzystanie przestrzeni magazynowej ...”, a w odnoszącym się do tego stwierdzenia wyrażeniu matematycznym (wzór (1)) podaje powierzchnię.
- 5) Str. 31, w 13d – błąd stylistyczny: „wielkość wartości współczynnika”. Czy nie wystarczy po prostu „wartości współczynnika”?
- 6) Na str. 32, w 11g – zamiast „przypiera” powinno być „przybiera”.
- 7) Moim zdaniem tytuł podrozdziału powinien brzmieć „Metody planowania rozmieszczenia produktów”.
- 8) Str. 58 w 2–3g – „im większe przepływy tym bardziej...” – moim zdaniem lepiej brzmi „im bardziej intensywne przepływy tym bardziej”.
- 9) Str. 63 w 7d – zamiast „powszechnie znanych wzorów” powinno być raczej „powszechnie znanych wzorów”.
- 10) Na str. 67 w 8d pomyłone zostały jednostki prędkości (s/m zamiast m/s).
- 11) Str. 72, w 1g – zamiast „dokonywane” powinno być „dokonywana”.
- 12) We wzorze (60) na str. 75 dwie różne zmienne są identycznie oznaczone (symbolem t_p)
- 13) Str. 104 w 6d – zamiast „... jest równa liczby” powinno być „... jest równa liczbie”.
- 14) Moim zdaniem tytuł podrozdziału 6.3.4 powinien brzmieć „Wybór algorytmu uczącego”.
- 15) Na str. 139 Autor pisze: „... można zauważyć, że metoda klasyfikacji i rozmieszczenia produktów w oparciu o sztuczne sieci neuronowe zawsze jest inwestycją opłacalną...”. Moim zdaniem należy przeredagować to zdanie.

4. Ocena końcowa rozprawy doktorskiej

Przedstawiona rozprawa doktorska należy do aktualnego i ważnego obszaru badawczego, związanego z wdrażaniem nowych metod i modeli sterowania procesami w obiektach magazynowych. Oceniając pozytywnie zastosowane w pracy podejście i uzyskane wyniki własnych badań, należy podkreślić, iż – niezależnie od zawartych w niniejszej recenzji uwag o dyskusyjnym charakterze – dysertacja jest udaną i przydatną dla praktyki próbą skonstruowania i oceny zastosowania modeli ważnych procesów realizowanych w obiektach magazynowych.

Praca została przygotowana z dużą starannością i nakładem pracy, potwierdza wysoki poziom wiedzy i umiejętności Autora w rozwiązywaniu złożonych problemów decyzyjnych w obszarze obiektów magazynowych.

Autor dysertacji wykazał się znajomością i poprawnością w doborze aktualnej i reprezentatywnej literatury dotyczącej tematu pracy oraz umiejętnością krytycznej analizy podstawowych tez odnośnie tematu pracy.

Należy także podkreślić poprawność określenia przez mgra inż. Augustyna Lorenca założeń metodologicznych zgodnych z rodzajem pracy i przyjętą orientacją badawczą oraz poprawnością prezentacji i analizy zgromadzonych w toku badań materiałów i danych, opracowanie wniosków wynikających z analizy materiału badawczego.

Za najważniejsze osiągnięcia Doktoranta w recenzowanej pracy uważam:

- 1) opracowanie autorskich metod klasyfikacji produktów wykorzystujące metody podziału na klasy z uwzględnieniem wzajemnych powiązań oraz dynamiczne granice klas, a także algorytm bazujący na modelu sztucznych sieci neuronowych;
- 2) opracowanie autorskich algorytmów symulacyjnych umożliwiających ocenę procesów kompletacji;
- 3) weryfikacja i ocena wyników analiz z zastosowaniem metod statystycznych;
- 4) opracowanie autorskiej aplikacji SPKZ będącej implementacją komputerową ww. modeli i algorytmów.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia wyrażam jednoznaczną opinię, że rozprawa doktorska **mgr inż. Augustyna Lorenca** nt.: *Wpływ metody klasyfikacji produktów na efektywność transportu wewnątrzmagazynowego* **spełnia wymagania Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym** (Dz. U. Nr 0365595 z 16.04.2003 r. Art. 16, pkt. 2, ust. 1) wraz z późniejszymi zmianami i Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. i **wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.**

dr hab. inż. Marek Karkula



