

Warszawa, dn. 12.06.2017 r.

dr hab. Jolanta Żak, prof. PW

Zakład Logistyki i Systemów Transportowych

Wydział Transportu PW

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Więcka

**„Zastosowanie narzędzi sztucznej inteligencji w sterowaniu zapasami towarów
w warunkach niepewności”**

Recenzję wykonano na zlecenie Rady Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej z dnia 19 kwietnia 2017 roku (pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej dr hab. inż. Andrzeja Szaraty, prof. PK z dn. 24.04.2017 r.).

I. Uwagi wstępne

Recenzowana praca, będąca przedmiotem rozprawy, obejmuje:

- 166 stron wraz z załącznikami oprawione w książkę formatu A4;
- 66 rysunków, ponumerowanych i podpisanych, w tekście zasadniczym;
- 16 tabel w tekście zasadniczym, które są ponumerowane i opisane;
- 2 załączniki zamieszczone na końcu pracy;
- bibliografię liczącą 155 pozycji krajowych i zagranicznych w tym: 1 pozycję internetową oraz 1 pozycję Autora rozprawy.

Zasadnicza treść rozprawy zawarta jest w rozdziałach 2÷5. Wstęp do rozprawy stanowi wprowadzenie do identyfikacji jej obszaru badawczego. Rozprawę kończy podsumowanie (rozdział 6) zawierające analizę otrzymanych wyników oraz wnioski wynikające z przeprowadzonych w pracy rozważań, a także wskazanie kierunków dalszych badań.

Praca zawiera dwa załączniki A i B. Załącznik A rozprawy doktorskiej zawiera 4 tabele, w których przedstawiono procentowe błędy prognozowania otrzymane w wyniku obliczeń przeprowadzonych zgodnie z zaproponowaną przez mgr. inż. Pawła Więcka metodą oraz innymi najczęściej stosowanymi. Załącznik B zawiera 5 tabel, w których przedstawiono

przyjęte na podstawie obliczeń wartości wag dla 235 reguł rozmytych wyznaczonych dla rozważanych w pracy wariantów.

Rozprawa zawiera również streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń.

II. Ocena doboru tematu rozprawy

Sterowanie zapasami jest bardzo trudnym i złożonym problemem badawczym, którym od ponad 100 lat zajmują się naukowcy. Aktualnie przyjmuje się, że koszty związane z utrzymywaniem zapasów mogą stanowić do 12% ostatecznej ceny produktu. Z tego powodu utrzymanie właściwego poziomu zapasów jest, w dobie gospodarki rynkowej i walki o klienta, niezwykle ważne. Wymagania klientów co do czasu, ceny, niezawodności dostaw, skutkują ciągłym poszukiwaniem rozwiązań zapewniających z jednej strony minimalizację kosztów magazynowania, a z drugiej strony spełnienie oczekiwań odbiorców co do ilości i czasu dostawy towaru. Poziom zapasów w magazynie jest wypadkową procesu zakupu/produkcji towaru oraz jego późniejszej sprzedaży. Efektywne sterowanie zapasami polega zatem na znalezieniu optymalnej wielkości poziomu zapasu uwzględniającej zarówno procesy napełniania jak i opróżniania magazynu.

Trudność w określeniu właściwego poziomu wynika z faktu, iż sterowanie zapasami wymaga wzięcia pod uwagę wielu różnych parametrów i charakterystyk łańcucha dostaw. Dodatkowo w przypadku sieci dostaw dużym problemem jest losowość występująca zarówno w przypadku przewidywania popytu na towar jak i czasu dostawy, zwłaszcza gdy dostawy towarów realizowane są przez różnych dostawców i w różnych cyklach. Tylko właściwe zsynchronizowanie zapasów z wielkością zapotrzebowania prowadzi do redukcji kosztów, usprawnienia przepływu i tym samym do zwiększenia rentowności przedsiębiorstwa. Ponadto właściwa polityka uzupełniania zapasów może przyczynić się do redukcji efektu byczego bicza, przy czym klasyczne metody sterowania zapasami nie gwarantują osiągnięcia tego celu. Obecnie najczęściej stosuje się minimalizację wpływu niepewności popytu, a tym samym stosuje się odpowiednie metody przewidywania i w tym obszarze zlokalizowana jest praca Doktoranta.

Reasumując Autor podjął się niełatwego ale ważnego zadania związanego opracowaniem modelu sterowania zapasami z uwzględnieniem aspektu niepewności. Do modelowania i symulacji dynamiki zmian popytu Autor zastosował: sztuczne sieci neuronowych, logikę rozmytą, algorytmy genetyczne, analizę spektralną i model autoregresji ARIMA. Reasumując uważam, że podjęcie przez mgr. inż. Pawła Więcka problematyki sterowania zapasami

towarów z uwzględnieniem losowości należy uznać za uzasadniony, a sformułowanie tematu rozprawy za właściwe.

III. Analiza zakresu, celu i treści rozprawy

W przedstawionej do recenzji rozprawie, Autor podjął się rozwiązania złożonego zagadnienia dotyczącego sterowania zapasami towarów w warunkach niepewności. Przyjęta przez Doktoranta teza główna pracy brzmi (str. 9), cytuję: „Systemowe wykorzystanie dedykowanych technik sztucznej inteligencji istotnie wpływa na zwiększenie efektywności w zakresie logistyki zapasów w warunkach niepewności”. Natomiast teza pomocnicza brzmi „zastosowanie hybrydowych modeli prognostycznych umożliwia zmniejszenie poziomu niepewności w odniesieniu do predykcji popytu na dostawy towaru”.

Zakres pracy przedstawiony w rozprawie został podporządkowany realizacji celu rozprawy, który Doktorant formułuje jako (str. 9), cytuję: „...opracowanie inteligentnej metody sterowania zapasami w warunkach niepewności z wykorzystaniem dedykowanych metod i narzędzi sztucznej inteligencji”. Celami szczegółowymi są: „Ukazanie możliwych korzyści i zysków ze stosowania metod sztucznej inteligencji w obszarze sterowania zapasami” oraz „Opracowanie propozycji umiejscowienia podejmowanej problematyki kontrolowania poziomu zapasów w warunkach niepewności z wykorzystaniem narzędzi sztucznej inteligencji w hierarchicznej koncepcji Inteligentnych Zintegrowanych Systemów Logistycznych”.

Treść rozdziałów jest powiązana z tytułem rozprawy i stanowi jego rozwinięcie oraz odpowiada sformułowanym celom rozprawy.

Rozdział pierwszy - Wstęp (7 stron) zawiera zasygnalizowanie problematyki podjętej w dysertacji, a także przesłanki które uzasadniły zajęcie się tematyką sterowania zapasami w warunkach niepewności. Obszar badawczy nakreślony przez Autora uważam za trafny i aktualny. W rozdziale zdefiniowano cele pracy i przyjęto tezy (główną i szczegółową), a następnie wypunktowano zadania które należy zrealizować aby udowodnić tezę i zrealizować cel pracy. W rozdziale tym przedstawiono również zakres pracy i wykaz najważniejszych skrótów i oznaczeń. W tezie głównej znalazło się, wg mnie niefortunne, określenie logistyka zapasów, sądzę że właściwszym byłoby zarządzanie zapasami.

Identyfikacji obszaru badawczego Autor dokonał w rozdziałach: drugim i trzecim. **Rozdział drugi (25 stron)** zawiera podstawowe pojęcia i definicje z obszaru logistyki, a zwłaszcza magazynowania i teorii zapasów. Mgr inż. Paweł Więcek opisał funkcje magazynów w sieci dostaw, wymienił rodzaje kosztów dotyczących zapasów, modele

sterowania zapasami klasyczne oraz inne wykorzystywane. W rozdziale przedstawiono również mierniki oceny efektywności sterowania zapasami (np. poziom obsługi klienta). Niestety w rozdziale tym pojawiło się wiele niefortunnych określeń i porównań (np. stwierdzenie, że magazyn i centrum logistyczne to pojęcia tożsame, czy też przyjęcie dostępności towaru w magazynie jako miernika jakości obsługi), które wymagają wyjaśnienia.

W **rozdziale trzecim (12 stron)** Autor przedstawił stosowane metody analizy popytu na towar (ABC, XYZ) wykorzystywane przy planowaniu zapasów. Zaprezentował najczęściej stosowane metody prognozowania popytu z wykorzystaniem szeregów czasowych. Określił źródła niepewności popytu na towar oraz wpływu niedokładności prognozy na sterowanie.

Zasadnicza część pracy to **rozdziały czwarty (42 strony)** i **piąty (44 strony)** w których Autor rozprawy przedstawił autorską metodę sterowania poziomem zapasów w warunkach niepewności wraz z jej weryfikacją.

Rozdział czwarty zawiera opracowaną przez mgr inż. Pawła Więcka metodę oraz jej umiejscowienie na wśród innych metod sterowania zapasami uwzględniających niepewność danych, tj. stochastycznych, robust i wykorzystujących narzędzia sztucznej inteligencji. Metodyka sterowania opracowana przez Autora mieści się w tym ostatnim obszarze. Model, dedykowany pojedynczemu ogniwu sieci logistycznej, przedstawiony w dysertacji zawiera elementy: sztucznych sieci neuronowych, logiki rozmytej i algorytmów genetycznych. Zasadniczymi elementami modelu są dwa moduły: hybrydowy model predykcji popytu (zawierający filtrację danych, analizę spektralną, model autoregresji ARIMA i sztuczne sieci neuronowe) i rozumowania rozmytego. W module rozumowania rozmytego zastosowano model Mamdaniego oraz algorytmy genetyczne.

Wśród danych wejściowych modelu do modułu wnioskowania rozmytego znajdują się parametry niepewne takie jak: czas dostawy, dostępność oraz aktualne dane dotyczące popytu i aktualnego stanu zapasów oraz wyniki otrzymane z modułu predykcji. Parametrem wejściowym do modułu predykcji jest popyt historyczny, który Autor zaliczył do danych niepewnych, z czym się nie zgadzę. Kluczowym elementem modułu wnioskowania jest wyznaczenie optymalnej bazy reguł rozmytych otrzymanej wyniku optymalizacji minimalizacji funkcji będące średnią ważoną trzech kryteriów: średniego poziomu zapasów, liczby braków oraz liczby dostaw, w tym miejscu mam pytanie o bardziej szczegółową interpretację przyjętych do analizy wag. Przedstawione zadanie optymalizacyjne zostało według mnie jedynie nakreślone i zawiera wiele niedopowiedzeń, np. jak definiowany jest zbiór C do którego należy d_t .

Metodyka zaproponowana przez Autora ujmuje problem w sposób systemowy i może być wykorzystywana przez różne typy przedsiębiorstw, w których występuje problem kontroli zapasów.

W rozdziale piątym mgr inż. Paweł Więcek przedstawił weryfikację opracowanej metodyki, na przykładzie rzeczywistych 25 zestawów danych (25 typów towarów) zawierających informacje o zapotrzebowaniu na produkty przedsiębiorstwa zajmującego się dystrybucją paliw płynnych. Dane z dwóch lat dotyczyły 365 dni w każdym roku, przyjęte szeregi czasowe dotyczyły zapotrzebowania dobowego. Na podstawie danych z pierwszego roku został zbudowany model predykcji, trafność wyznaczonych prognoz została przeprowadzona na danych z drugiego roku. Otrzymane wyniki porównano z wynikami otrzymanymi innymi metodami (średniej ruchomej, Wintersa, Holta). Wyznaczono kwartyle błędów dla prognoz 2, 3, 4 i 5 dniowych. Następnie przeprowadzono wnioskowanie rozmyte wyznaczając optymalne bazy reguł rozmytych. Badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem pakietu Matlab, dla 8. wariantów różniących się zakresem zmienności czasu dostawy (4 -7 dni) i dwóch wartości odchylenia standardowego (0,3 i 0,15). Mgr inż. Paweł Więcek wyznaczył przeciętny poziom zapasów, średnią liczbę błędów i średnią liczbę dostaw oraz popyt nieobsłużony z wykorzystaniem: metody autorskiej, klasycznego poziomu zamawiania oraz połączonego modelu poziomu i cyklu zamawiania. Autor przeprowadził również analizę wrażliwości na poziom zmienności i niepewności parametrów oddziałujących na poziom zapasów. Głównym mankamentem tej części pracy jest brak danych wejściowych, co uniemożliwia weryfikację wyników predykcji. Nie ma również przeprowadzonej analizy jakości danych. Poza tymi uwagami zaprezentowany przykład jest reprezentatywny dla opracowanej metodyki.

Rozdział szósty (6 stron) zawiera podsumowanie i wnioski zaproponowanej metodyki. Mgr inż. Paweł Więcek wyróżnił wnioski poznawcze i utylitarne dysertacji. W rozdziale tym zaproponował także dalsze kierunki badań.

IV. Ocena rozprawy

Uważam, że zasadniczym i najważniejszym dorobkiem mgr. inż. Pawła Więcka jest opracowanie autorskiej metody sterowania poziomem zapasów w warunkach niepewności wraz z jej weryfikacją.

Dokonując oceny układu rozprawy, należy podkreślić, że jej ogólna forma i zakres wynikają z realizacji celu rozprawy. Cel rozprawy, jak wcześniej wspomniano, polegał na opracowaniu metody, zawierającej wybrane narzędzia sztucznej inteligentnej, sterowania

zapasami w warunkach niepewności z wykorzystaniem dedykowanych metod i narzędzi sztucznej inteligencji.

Uważam, że zarówno konstrukcja dysertacji mgr. inż. Pawła Więcka jak i sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań pozwalają stwierdzić, że cel rozprawy został osiągnięty.

Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie nauki o transporcie, dobrą znajomością przedmiotu badań, umiejętnością analitycznego ujęcia rozpatrywanego problemu oraz jego rozwiązania. Doktorant posiada cechy wnikliwego badacza, które predysponują Go do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Należy stwierdzić, że przedmiot rozprawy doktorskiej stanowi przykład wykorzystania w praktyce właściwie przygotowanych rozwiązań naukowych. Na podstawie recenzowanej dysertacji, tj. proponowanego w niej podejścia, powinny być prowadzone dalsze badania w obszarze sterowania poziomem zapasów w warunkach niepewności. Zastosowany przez Doktoranta aparat matematyczny i umiejętność systemowej analizy problemów badawczych zasługuje na ocenę pozytywną, co najmniej dobrą. Omówiona konstrukcja rozprawy oraz sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań są zadawalające i właściwe dla tego rodzaju prac.

Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie nauki o transporcie, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz umiejętnością analitycznego rozwiązania rozpatrywanego problemu.

V. Uwagi szczegółowe

Zawartość merytoryczną rozprawy oceniam pozytywnie. Mimo dobrej oceny, czytając treść nasunęły mi się pewne pytania. Odpowiedzi na pytania oczekuję podczas publicznej obrony.

- 1) Jak wspomniałam w pracy stosuje Pan wymiennie wiele pojęć z zakresu logistyki. Prosiłabym o sprecyzowanie pojęć: magazyn, centrum logistyczne, centrum dostaw, łańcuch dostaw, kanał dystrybucyjny i system logistyczny.
- 2) Na stronie 16 pisze Pan, że oferowanie odpowiedniego poziomu obsługi poprzez utrzymywanie wysokich stanów magazynowych jest wysoce nieekonomiczne. Czy stwierdzenie to jest zawsze prawdziwe?
- 3) Pierwszym krokiem w analizie i predykcji popytu jest filtracja służąca wygładzaniu funkcji. Dlaczego wykorzystał Pan w tym celu filtr Hodricka-Prescotta ?

- 4) W ostatnich latach często podnosi się ideę tzw. „Fizycznego Internetu” w którym na zapasy patrzy się globalnie uwzględniając całą sieć logistyczną. Czy Pana podejście można zmodyfikować tak aby uwzględniała postulaty Fizycznego Internetu?

W recenzowanej dysertacji Doktorant nie ustrzegł się błędów redakcyjnych. Błędy redakcyjne (np. liczne teksty wiszące, długie zdania do 60 wyrazów, strony z jednym akapitem), które zauważyłam w recenzowanej rozprawie, przekazane zostały Doktorantowi w bezpośredniej rozmowie. W pracy występuje również wiele lapsusów językowych (np. ilość czasu, postęp owocujący) oraz literówek. Nie wpływają one na ocenę merytoryczną rozprawy, a jedynie utrudniają zrozumienie jej fragmentów. Do błędów, które istotnie utrudniają zrozumienie niektórych fragmentów dysertacji, należy zaliczyć m.in.:

1. stosowanie różnych zapisów kwantyfikatorów ogólnych i nawiasów dla przedziału,
2. do wzoru 2 - zawiera duże uproszczenie. Według niego koszt przechowywania dwóch typów owoców np. jabłek i gruszek o różnej cenie jest różny, a powinien być ten sam
3. do wzoru 29 – dotyczy on wielu okresów a nie jednego jak jest w opisie,
4. do wzoru 42 – powinno być w_i ,
5. do wzoru 56 – nie wiadomo po czym jest sumowanie,
6. do wzoru 61 – powinno być \wedge zamiast $\&$,
7. do wzoru 64 – brak opisu części wyrażeń występujących we wzorze,
8. do strony 76 - błędy w opisie definicji 9,
9. do strony 85 - błędy w zapisie ostatniego wyrazu chromosomu,
10. do strony 84 – w algorytmie brak jest warunku przejścia z nowej populacji rodzicielskiej do warunku stopu.

Za mankament pracy uważam również fakt, iż w przedstawionym przeglądzie literaturze brakuje prac Autora dysertacji.

VI. Wniosek końcowy oceny rozprawy

Przedstawioną do recenzji pracę oceniam wysoko, została ona wykonana na dobrym poziomie merytorycznym. Zawarte w niej treści dotyczą złożonych problemów sterowania zapasami w warunkach niepewności. Ponadto mgr inż. Paweł Więcek wykazał się dobrą orientacją w problematyce wybranych narzędzi sztucznej inteligencji. Treści merytoryczne zawarte w pracy świadczą o dużej dojrzałości naukowej i wiedzy merytorycznej mgr inż. Pawła Więcka.

Zaprezentowane w rozprawie wyniki badań są oryginalnym dorobkiem naukowym Doktoranta, a rezultaty pracy mogą zostać bezpośrednio wykorzystane w praktyce, czego

dowodem jest zweryfikowanie ich na przykładzie rzeczywistym. Zawarte w rozprawie badania i analizy są na wysokim poziomie merytorycznym, a ich wyniki rozszerzają wiedzę z zakresu metodyk sterowania poziomem zapasów.

Uwagi krytyczne nie umniejszają wysokiej wartości merytorycznej pracy. Na taką ocenę pracy ma wpływ fakt, iż jej cel został osiągnięty i potwierdzony wynikami praktycznymi.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa spełnia warunki przewidziane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz. U. Nr 65, poz. 595.

Stawiam więc wniosek o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji – jako rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Więcka na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie transport i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

