

Poznań, 8.10.2017

prof. dr hab. Agnieszka Merkiś-Guranowska
Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych
Wydział Maszyn Roboczych i Transportu
Politechniki Poznańskiej



O C E N A
rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamila Popiela

**pt. "MODELOWANIE MATEMATYCZNE FORMOWANIA JEDNOSTEK
ŁADUNKOWYCH DLA WYBRANYCH ZADAŃ TRANSPORTOWYCH"**

(podstawa opracowania: pismo Prodziekana Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej
z dnia 31.08.2017, do którego
dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej)

1. WYBÓR TEMATU I GENEZA PRACY

Współcześnie transport i usługi logistyczne odgrywają kluczową rolę, niezbędną do prawidłowego funkcjonowania przedsiębiorstw. Rosnące oczekiwania klientów, konkurencja na rynku przewozowym oraz rosnące koszty transportu powodują, że właściwa organizacja procesu dystrybucji jest jednym z decydujących czynników wpływających na koszty, a tym samym zyski przedsiębiorstwa.

Autor w opracowanej rozprawie doktorskiej zajął się problemem formowania jednostek ładunkowych z niejednorodnych jednostek opakowaniowych.

Problem pakowania jest szczególnie trudny dla niejednorodnych jednostek ładunkowych, których niewłaściwe ułożenie może prowadzić do uszkodzenia ładunku podczas transportu lub obsługi w punktach przeładunkowych. Powodem jest nieuwzględnianie przy formowaniu jednostek ładunkowych mas i wytrzymałości jednostek opakowaniowych lub brak stabilności uformowanych jednostek podczas transportu. Prowadzi to do niszczenia jednostek opakowaniowych o niższych parametrach wytrzymałościowych pod ciężarem innych oraz rozformowania jednostek ładunkowych. Inną konsekwencją niewłaściwego formowania jednostek ładunkowych może być niewykorzystanie całej przestrzeni ładunkowej pojazdów.

Właściwy załadunek jednostek opakowaniowych wpływa zatem bezpośrednio na obniżenie kosztów transportu, a także na lepszy poziom obsługi klienta. Decyzje związane z formowaniem ładunków najczęściej podejmowane są na zasadzie wiedzy eksperckiej i są efektem doświadczenia osób zajmujących się załadunkiem. Niemniej decyzje te powinny być podejmowane w racjonalny, przemyślany sposób, uwzględniając wiele istotnych aspektów związanych nie tylko z wymiarami jednostek opakowaniowych, ale również wytrzymałością, rozkładem masy i innymi parametrami ładunku. Właściwy załadunek ułatwia posługiwanie się odpowiednimi narzędziami wspomagania decyzji. Wykorzystanie tego typu narzędzi zmniejsza ryzyko uszkodzeń ładunku podczas transportu i pozwala na optymalne

wykorzystanie przestrzeni ładunkowej pojazdów, przynosząc wymierne korzyści przedsiębiorstwu.

W tym kontekście zagadnienia poruszane w rozprawie wpisują się w aktualne problemy badawcze, a opracowanie narzędzia wspomagania decyzji służącego optymalizacji procesu ładowania prowadzącego do minimalizacji kosztów logistycznych jest odpowiedzią na rzeczywiste potrzeby i oczekiwania przedsiębiorstw.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Rozprawa dotyczy zagadnień organizacji załadunku, a w szczególności formowania jednostek ładunkowych z prostopadłościennych niejednorodnych jednostek opakowaniowych.

Oceniana rozprawa zawiera 155 stron i została podzielona na wstęp, jedenaście rozdziałów oraz wnioski. Zawiera ponadto 3 załączniki.

We wstępie Autor przedstawił tło i genezę poruszanych zagadnień oraz wskazał najczęściej spotykane błędy we formowaniu ładunków oraz ich konsekwencje.

W rozdziale pierwszym Doktorant nakreślił obszar problemowy oraz przedstawił podstawowe definicje. W tej części omówiono także problemy decyzyjne związane z formowaniem jednostek ładunkowych.

Kolejne dwa rozdziały poświęcono przeglądowi literatury. Autor dokonał krytycznego przeglądu literatury w zakresie zadań optymalizacyjnych formowania jednostek ładunkowych wraz ze wskazaniem założeń modeli oraz ograniczeń ich stosowania. W efekcie stwierdził, że opisane modele charakteryzują się pewnymi niedoskonałościami, a ich zastosowanie ogranicza się do rozwiązywania wąskiego zakresu problemów decyzyjnych. Jednostki ładunkowe formowane według dostępnych modeli optymalizacyjnych oraz metod przybliżonych, nie zawsze są stabilne i nie zawsze mają zapewnioną wymaganą trwałość w trakcie transportu. Istnieje zatem potrzeba opracowania narzędzia wspomagającego formowanie niejednorodnych jednostek ładunkowych uwzględniającego ograniczoną wytrzymałość opakowań. Trzeci rozdział zawiera przegląd metod heurystycznych wykorzystywanych do formowania jednostek ładunkowych, w tym metody rozwiązujące trójwymiarowy problem załadunku. Na podstawie analizy literatury Autor wskazał wymagane cechy nowej metody heurystycznej oraz jej podstawowe założenia.

W rozdziale czwartym zostały sformułowane cel i teza rozprawy. Jako cel rozprawy przyjęto sformułowanie i implementację komputerową zadań optymalizacyjnych oraz opracowanie i implementację komputerowej metody heurystycznej formowania niejednorodnych jednostek ładunkowych dla wybranych zadań transportowych przy uwzględnieniu masy i wytrzymałości jednostek opakowaniowych i pomocniczych urządzeń ładunkowych, położenia środka masy jednostek ładunkowych i jednostek opakowaniowych oraz przenoszenia obciążeń pionowych uwarunkowanych powierzchniami podparcia jednostek opakowaniowych.

Kolejne rozdziały od piątego do jedenastego stanowią oryginalne osiągnięcie Autora rozprawy.

Rozdział piąty zawiera zaproponowany przez Doktoranta model matematyczny formowania jednostek ładunkowych, w którym uwzględniono takie elementy jak: masa i wytrzymałość jednostek opakowaniowych i pomocniczych urządzeń ładunkowych, podparcie powierzchni nośnych jednostek opakowaniowych gwarantujące ich stabilność, przenoszenie przez jednostki opakowaniowe obciążeń pionowych, możliwość obrotu jednostek opakowaniowych wokół ich osi wysokości, położenie środków masy jednostek ładunkowych. W rozdziale tym

Autor zidentyfikował elementy modelu, parametry, zmienne decyzyjne, ograniczenia oraz funkcję kryterium oceny rozwiązań interpretowaną jako maksymalizację wypełnienia jednostek ładunkowych.

Następnie Autor zidentyfikował trzy rodzaje zadań transportowych, tj. zadania bez uwzględnienia masy ładunku, ale z koniecznością podparcia powierzchni nośnych jednostek opakowaniowych, zadania z jednoczesnym uwzględnieniem masy i podparcia powierzchni oraz zadania z uwzględnieniem podparcia powierzchni, przenoszenia obciążeń pionowych, masy i wytrzymałości jednostek oraz położenia środka masy jednostek ładunkowych. Dla każdego z trzech typów zadań sformalizowano zapis matematyczny zadania optymalizacyjnego.

W rozdziale siódmym przedstawiono implementację sformułowanych zadań opracowaną w środowisku LINGO oraz pokazano przykłady obliczeniowe dla każdego z rodzajów zadań.

Ze względu na długi czas obliczeń sformułowanych zadań optymalizacyjnych (dla przykładów liczących od 12 jednostek opakowaniowych i więcej), opracowano autorską metodę heurystyczną formowania jednostek dla trzech sytuacji decyzyjnych, która została opisana z użyciem schematów blokowych w rozdziale 8. Każdej sytuacji decyzyjnej odpowiada jeden moduł algorytmu. Dodatkowo w opracowanej metodzie heurystycznej uwzględniono 8 różnych metod sortowania jednostek opakowaniowych, m.in. porządkowanie malejąco wg powierzchni podstawy, wysokości, kubatury, wytrzymałości, masy, wartości wskaźnika kubaturowego, wartości wskaźnika powierzchniowego. Metoda ta została zaimplementowana w środowisku programistycznym PYTHON, co opisano w rozdziale 9. W dalszej części rozprawy Autor rozwiązał, z wykorzystaniem autorskiej metody heurystycznej, takie same przykłady obliczeniowe jak w rozdziale 7, porównał i ocenił uzyskane wyniki.

W rozdziale 11 opisano potencjał zastosowania autorskiego algorytmu heurystycznego, rozwiązano zadanie o znacznym stopniu złożoności oraz porównano wyniki z testami zaproponowanymi przez Bischoffa i Ratcliffa.

Ostatnią część rozprawy stanowią wnioski, w których Autor przedstawił w sposób syntetyczny efekty przeprowadzonych badań w ramach realizacji pracy i wskazał kierunki dalszych prac badawczych.

3. OCENA ROZPRAWY

Celem naukowym rozprawy było opracowanie zadań optymalizacyjnych ujętych w modelu matematycznym oraz algorytmu metody heurystycznej służących do formowania jednostek ładunkowych dla wybranych zadań transportowych. Celem użytkowym było dostarczenie narzędzia wspomagania decyzji w postaci aplikacji komputerowej służącego do formowania jednostek ładunkowych i wskazania optymalnego ułożenia jednostek opakowaniowych dla problemów o mniejszej skali złożoności lub rozwiązań zbliżonych do optymalnych dla problemów o większej skali złożoności przy uwzględnieniu maksymalizacji wypełnienia przestrzeni jednostek ładunkowych.

Prowadzone dotychczas prace badawcze i teoretyczne dotyczące problematyki formowania jednostek ładunkowych skupiały się głównie na uwzględnieniu wymiarów jednostek opakowaniowych. Nie uwzględniały natomiast ograniczonej wytrzymałości jednostek.

W przeciwieństwie do najczęściej spotykanych w literaturze metod formowania jednostek ładunkowych (najczęściej dwuwymiarowych), zaproponowana przez Doktoranta metoda uwzględnia:

- położenie środka masy jednostek ładunkowych i pojedynczych jednostek opakowaniowych,

- przenoszenie obciążeń pionowych uwarunkowanych powierzchniami podparcia poszczególnych jednostek opakowaniowych,
- masę jednostek opakowaniowych,
- wytrzymałość,
- możliwość obrotu jednostek opakowaniowych wokół ich osi wysokości.

Autor rozprawy nie tylko przedstawił zapis matematyczny modelu formowania jednostek ładunkowych uwzględniający wymienione wyżej charakterystyki, ale opracował aplikację komputerową implementującą opisany model. Co więcej Autor przedstawił dwie metody optymalizacji formowania jednostek ładunkowych – jedną dokładną dla mniej złożonych problemów oraz drugą heurystyczną dla problemów o wyższym stopniu złożoności. Zaproponowane metody w porównaniu do rozwiązań eksperckich stosowanych najczęściej w przedsiębiorstwach, pozwalają zminimalizować liczbę wykorzystywanych jednostek ładunkowych i zapewnić bezpieczeństwo ładunku w czasie transportu, a tym samym zmniejszyć koszty związane z obsługą logistyczną. **Opisane i zweryfikowane na przykładach aplikacje komputerowe wykorzystujące narzędzia programowania LINGO i PYTHON, stanowią główną wartość prezentowanej rozprawy, nadając jej jednocześnie użyteczny charakter.**

W wyniku przeprowadzonych prac badawczych Autor dostarczył praktyczne narzędzie wspomagania decyzji w formowaniu jednostek ładunkowych gwarantujących bezpieczeństwo transportu ładunków, a tym samym służące planowaniu i organizacji procesów transportowych i magazynowych w łańcuchu logistycznym. Opracowana aplikacja stanowi wygodne narzędzie z uwagi na możliwość wizualizacji wyników, która ułatwia formowanie ładunków w praktyce. Jako wadę opisanej metody można wskazać posługiwanie się środowiskiem programistycznym LINGO i PYTHON, które nie są powszechnie wykorzystywane w przedsiębiorstwach.

Sam model matematyczny, opisany w rozdziale 5, służący do formowania jednostek ładunkowych opisujący wzajemne relacje pomiędzy parametrami i zmiennymi może być w przyszłości wykorzystany także w innych pracach badawczych. **Praca wnosi zatem oryginalny wkład w rozwój nauki.**

Warto także podkreślić, że poprawność opracowanego narzędzia heurystycznego została zweryfikowana na problemie badawczym o dużej skali złożoności, tj. rozmieszczenia 1000 jednostek ładunkowych. Jednocześnie Autor wykazał, że jakość uzyskiwanych rozwiązań z zastosowaniem autorskiego algorytmu heurystycznego, mierzona wskaźnikiem wypełnienia jednostek ładunkowych, nie odbiega od jakości rozwiązań analogicznych problemów uzyskiwanych z wykorzystaniem innych metod. Ponadto rozwiązania charakteryzują się właściwą interpretacją fizyczną, co ma gwarantować, że jednostki ładunkowe nie ulegną rozformowaniu a jednostki opakowaniowe zniszczeniu. Jakość rozwiązań i krótki czas obliczeń dla złożonych problemów stanowią podstawowe korzyści, które mogą przemawiać za wykorzystaniem narzędzia w praktyce gospodarczej.

Pod względem edytorskim praca jest napisana poprawnie. Język pracy jest dojrzały, jednolity i poprawny, a całość jest logicznie uporządkowana. Zrozumiały algorytm postępowania, czytelne zobrazowanie przebiegu badań i prezentacja wspomagają śledzenie wyводу. Na przejrzystość struktury pracy wpływa również to, że jest właściwie zilustrowana graficznie.

Na podkreślenie zasługuje także obszerna bibliografia, na którą w sumie składa się 96 pozycji aktualnej i różnorodnej literatury. Połowę pozycji stanowią te wydane w ciągu ostatnich 10 lat. Autor powołuje się na 75 pozycji zagranicznych (blisko 80% pozycji bibliograficznych),

w tym również na publikacje zamieszczone w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (tzw. liście filadelfijskiej).

Pod względem merytorycznym rozprawa nie budzi zastrzeżeń. Problem został jasno sformułowany, Autor określił zadania badawcze i konsekwentnie je zrealizował w poprawnych eksperymentach badawczych.

W rozprawie brakuje jednak wyjaśnienia dlaczego Autor wybrał do implementacji modelu matematycznego narzędzia do programowania całkowitoliczbowego LINGO, a nie inne narzędzia np. CPLEX, wykorzystywanego przez innych badaczy do optymalizacji procesów ładunkowych. LINGO posiada szereg ograniczeń, między innymi nie może być wykorzystywane do rozwiązywania problemów o znacznej skali złożoności, o czym przekonał się Doktorant w trakcie prowadzonych eksperymentów obliczeniowych. Podobnie nie sprecyzowano dlaczego metoda heurystyczna została zaimplementowana w środowisku programistycznym PYTHON.

Poza tym, implementacja modelu matematycznego w LINGO została szczegółowo przedstawiona w rozprawie (załączniki 1 do 3), podczas gdy implementacja metody heurystycznej w języku PYTHON została pominięta w opisie. Po opisanym schemacie blokowym opracowanej metody heurystycznej, Doktorant od razu przedstawia wyniki eksperymentów obliczeniowych, traktując narzędzie jako swoistą "czarną skrzynkę".

Zastanawiające jest, że opracowany model matematyczny nie został zaimplementowany z wykorzystaniem metod metaheurystycznych np. bazujących na algorytmach genetycznych, przeszukiwaniu lokalnym czy poszukiwaniem z tabu. Autor model matematyczny zaimplementował wyłącznie przy użyciu metod dokładnych, natomiast dla metody heurystycznej opracował własną odrębną i niezależną od modelu matematycznego, procedurę postępowania przy formowaniu jednostek ładunkowych. Opracowanie specjalizowanej metody heurystycznej dedykowanej do formowania jednostek ładunkowych jest oczywiście kolejnym osiągnięciem Autora, ale powoduje, że model matematyczny nie jest w praktyce wykorzystywany dla bardziej złożonych problemów.

W ostatniej części rozprawy, tj. w części obejmującej analizę i interpretację wyników Autor nie przeprowadził analizy wrażliwości. Ciekawą byłaby ocena jak zmiana pewnych parametrów (np. dopuszczalnego nacisku na powierzchnię nośną palety lub możliwego odchylenia środków masy jednostek od ich środków geometrycznych) wpłynie na uzyskane wyniki i współczynnik wypełnienia jednostki ładunkowej.

Przedstawione wyżej uwagi mają charakter dyskusyjny i nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy.

Uwagi szczegółowe:

- Autor przeciwstawia rozwiązania optymalne rozwiązaniom racjonalnym (s.18). Takie podejście sugeruje, że rozwiązania optymalne nie są racjonalne. Lepiej byłoby zamiast określenia "rozwiązania racjonalne" posługiwać się określeniem "najczęściej stosowane rozwiązania" lub stosowanym przez Autora w innym miejscu pracy określeniem "rozwiązania eksperckie".
- s.84-85 Na wykresach umieszczonych na rysunkach 18-20 brakuje jednostek czasu.
- Wstęp pracy zawiera podobne treści jak streszczenie pracy, w tym opis zawartości rozprawy. Jest to niepotrzebne powtórzenie treści.
- W pracy brakuje spisu oznaczeń. Spis ten ułatwiłby odczytywanie wzorów i oznaczeń, które umieszczone są w rozdziałach od 5. do 8. włącznie.

- s.114 aplikację komputerową błędnie oznaczono skrótem JLP zamiast FJL.
- s.123 zamiast określenia "efektownych" metod sortowania sugeruję raczej "efektywnych".
- Praca zawiera drobne błędy stylistyczne i językowe.

Osiągnięcia pracy:

Do najważniejszych osiągnięć pracy zaliczam:

- Opracowanie sformalizowanego modelu matematycznego formowania jednostek ładunkowych rozszerzającego dostępne modele matematyczne o masy i wytrzymałości jednostek, zapewnienie podparcia powierzchni nośnych, przenoszenie obciążeń pionowych i akceptowalne położenie środków masy.
- Stworzenie autorskiego oprogramowania, umożliwiającego praktyczne wykorzystanie metody, będącego narzędziem wspomagania decyzji w formowaniu jednostek ładunkowych.
- Możliwość zastosowania opracowanej aplikacji w przemyśle.

Autor rozprawy wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie nauki, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz umiejętnością analitycznego spojrzenia na rozpatrywany problem. Wprowadził nowe elementy wiedzy, posługując się przy tym nowoczesnymi narzędziami służącymi realizacji pracy naukowej oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia tego typu pracy przez znajomość metodyki, uzasadniania i doboru narzędzi naukowych.

Niniejsza praca stanowi wkład w rozszerzenie wiedzy o optymalizacji procesów transportowych. Stanowi próbę uzupełnienia prowadzonych dotychczas badań w zakresie formowania jednostek ładunkowych o sformalizowane narzędzia wspomagania decyzji. Praca z oczywistych względów nie wyczerpuje całości zagadnień związanych z zagadnieniami formowania jednostek ładunkowych, ale dzięki temu Autor będzie mógł prowadzić dalsze badania, które pozwolą uzupełnić opracowane narzędzia o inne parametry i uwzględnić inne funkcjonalności.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Na podstawie analizy przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej uważam, że:

- Autor dokonał trafnego wyboru tematyki swoich badań, a jej zakres spełnia stawiane wymagania pracom promocyjnym, gdyż praca stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego,
- dysertacja dobrze nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, wnosząc do nich nowe treści,
- cel pracy, w zakresie przyjętym przez Doktoranta, został osiągnięty, a prezentowane wyniki są uzyskane w poprawnie przeprowadzonych studiach i eksperymentach własnych i mogą służyć do dalszych prac,
- formalny układ pracy jest prawidłowy,
- mgr inż. Kamil Popiela posiada wiedzę teoretyczną, zdolności koncepcyjne oraz umiejętności niezbędne do samodzielnego rozwiązywania naukowych problemów badawczych.

Powyższe fakty świadczą o kompetencjach Doktoranta w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na Jego dużą wiedzę ogólną i umiejętności

praktyczne w dyscyplinie naukowej „Transport”, w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą.

Stwierdzam zatem, że praca mgr inż. Kamila Popieli pt.: „Modelowanie matematyczne formowania jednostek ładunkowych dla wybranych zadań transportowych” (promotor: dr hab. inż. Mariusz Wasiak, prof. PW) spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim, w rozumieniu ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 roku, a Autor może być dopuszczony do jej publicznej obrony.

Na podstawie oceny metodycznej i merytorycznej recenzowanej rozprawy i z uwagi na jej wysoki poziom oraz aspekty użytkowe wnioskuję o jej wyróżnienie.



Agnieszka Merkisz-Guranowska