

Prof. dr hab. inż. Edward Michłowicz
Akademia Górniczo – Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
e-mail: michlowi@agh.edu.pl



Kraków, 30.10.2017

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamila POPIELI

na temat:

Modelowanie matematyczne formowania jednostek ładunkowych dla wybranych zadań transportowych

Podstawą wykonania recenzji jest pismo Prodziekana ds. Nauki Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej z dnia 31 sierpnia 2017 roku.

Dokumentację merytoryczną do sporządzenia oceny stanowił egzemplarz rozprawy pt. *Modelowanie matematyczne formowania jednostek ładunkowych dla wybranych zadań transportowych*. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Mariusz Wasiak, profesor nadzwyczajny PW.

Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Kamila Popieli zawarta jest na 155 stronach i składa się ze streszczenia w języku polskim oraz języku angielskim, jedenastu numerowanych rozdziałów, wniosków, bibliografii (96 pozycji), spisów tabel i rysunków oraz trzech załączników (implementacje w LINGO zadań optymalizacyjnych).

W pracy brakuje spisu używanych oznaczeń, co istotnie utrudnia analizowanie wzorów, tabel i wyników zawartych w dalszej części pracy.

Pracę można podzielić na cztery zasadnicze części. W części pierwszej obejmującej około 40 stron Autor zawarł identyfikację obszaru badawczego (rozd.1), przegląd literatury z zakresu zadań optymalizacyjnych formowania jednostek ładunkowych oraz z zakresu metod heurystycznych (rozd. 2 i 3), a także przedstawił cel i tezę pracy (rozd. 4). Drugą część pracy stanowi model ogólny formowania jednostek ładunkowych, w którym Doktorant opisał założenia, parametry, zmienne decyzyjne, ograniczenia oraz sformułował funkcję kryterium modelu (rozd. 5). Ta część pracy, w moim przekonaniu, w dużej mierze decyduje o naukowej wartości pracy. W dalszej części pracy Autor sformułował trzy zadania transportowe formowania niejednorodnych jednostek ładunkowych. Dla tych zadań przedstawił opracowane przez siebie modele optymalizacyjne (rozd. 6), a ponadto dokonał implementacji i weryfikacji zadań w środowisku LINGO (rozd. 6 i 7). Niezadawalające rezultaty przeprowadzonych eksperymentów skłoniły mgr inż. Kamila Popielę do opracowania autorskiej metody heurystycznej (rozd. 8). Implementację metody dla wybranych trzech

zadań transportowych oraz jej ocenę przedstawił w rozdziałach 9 i 10. Możliwości wykorzystania autorskiego programu Formowania Jednostek Ładunkowych FJŁ zawiera rozdział 11. W rozdziale tym zawarte są ponadto wartościowe porównania rozwiązania autorskiego mgr inż. Kamila Popieli z testami E.E. Bischoffa i M.S. Ratcliffa. Po rozdziałach numerowanych Doktorant sformułował wnioski końcowe oraz propozycje kierunków dalszych badań (strony 125 – 130).

Nie wnikając w zagadnienia merytoryczne stwierdzam, że praca jest poprawna zarówno pod względem językowym, jak i edytorskim.

Ocena merytoryczna rozprawy

Zagadnienia właściwego, odpowiedniego rozmieszczenia jednostek opakowaniowych w jednostce ładunkowej należą do jednego z trudniejszych problemów do rozwiązania w transporcie i logistyce. Jeszcze trudniejszym jest w związku z tym problem znalezienia rozwiązania optymalnego. W optymalizacji dyskretnej problemy pakowania należą do klasy NP-trudnych. Typowe problemy pakowania lub załadunku zwykle rozpatrują jednostkę ładunkową jako kontener i zbiór obiektów (o zadanych rozmiarach) do zapakowania. Celem optymalizacji jest zwykle minimalizacja potrzebnych kontenerów lub maksymalizacja zajętości pojedynczego kontenera.

W tradycyjnym ujęciu problemy pakowania przyjmują zwykle formę zagadnień jednokryterialnych. Na przestrzeni ostatnich lat widoczne jest zainteresowanie problemami z dwoma lub więcej kryteriami. Optymalizacja wielokryterialna pozwala na lepsze modelowanie złożonych systemów stosowanych w praktyce, jednakże nadal problemy optymalizacji dyskretnej nie zostały wystarczająco dokładnie przebadane dla wariantu wielokryterialnego.

Problem optymalnego formowania jednostek ładunkowych stanowi ważną część logistyki magazynowania i transportu, stąd nowe propozycje zaawansowanych modeli i algorytmów dają możliwość uzyskiwania lepszych wyników w zakresie efektywności tych procesów. Natomiast dla przedsiębiorstw z branży TSL stwarzają możliwość wzrostu konkurencyjności.

Uwagi wstępne

Tematyka optymalizacji formowania jednostek ładunkowych jest od lat przedmiotem licznych publikacji naukowych, zarówno teoretycznych, jak i odnoszących się do aplikacji w procesach logistycznych. Wykazał to Doktorant w obszernym przeglądzie literatury. Walorem tego przeglądu jest rozdzielné potraktowanie zadań optymalizacyjnych i metod heurystycznych. Jednocześnie złożoność problemu sprawia, że proponowane do wykorzystania rozwiązania zawierają wiele uproszczeń.

A zatem istnieje potrzeba prac nad doskonaleniem metod umożliwiających wspomaganie procesów formowania jednostek ładunkowych, zwłaszcza niejednorodnych. Rozprawa doktorska mgr inż. Kamila Popieli w znaczący sposób wpisuje się w ten nurt.

Temat, cele i teza pracy

Wybór tematyki pracy uważam za celowy, uzasadniony i bardzo aktualny. Także tytuł pracy: *Modelowanie matematyczne formowania jednostek ładunkowych dla wybranych zadań transportowych* w moim przekonaniu jednoznacznie określa rozwiązywany i badany problem.

Mgr inż. Kamil Popiela w swojej rozprawie (str. 40) stwierdza, że w badaniach dotyczących formowania jednostek ładunkowych „...nierozwiązany pozostał m.in. problem formowania niejednorodnych jednostek ładunkowych o ograniczonej wytrzymałości, gdy wymagane jest spełnienie warunku możliwego położenia ich środków masy”

Na tej podstawie sformułował trzy cele:

- cel rozprawy,
- cel naukowy rozprawy,
- cel utylitarny.

Ponadto na stronie 42 sformułował tezę naukową rozprawy.

Jako cel rozprawy przyjęto (str. 40):

...sformułowanie i implementację komputerową zadań optymalizacyjnych oraz opracowanie i implementacje komputerową 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.

Cel naukowy, to:

...opracowanie zadań optymalizacyjnych oraz metody heurystycznej formowania jednostek ładunkowych dla wybranych zadań transportowych.

Cel utylitarny, to:

...zaimplementowanie komputerowe sformułowanych zadań optymalizacyjnych formowania jednostek ładunkowych oraz uzyskanie aplikacji komputerowej opracowanej metody heurystycznej formowania jednostek ładunkowych.

Tak sformułowany cel nie jest wg mnie poprawnie sformułowany. Przede wszystkim jest celem i obszernym zakresem tego, co Doktorant zawarł w swej pracy. Na dodatek niepotrzebnie zostały rozdzielone jako odrębne pojęcia: *zadania optymalizacyjne i wybrane zadania transportowe*. Jak wynika z dalszej części rozprawy Autor sformułował trzy konkretne zadania, dla których zbudował odpowiednie modele matematyczne. Dla tych trzech zadań przeprowadził procedury optymalizacyjne i dla tych samych zadań opracował aplikację FJŁ (Formowanie Jednostek Ładunkowych), której podstawą był autorski algorytm heurystyczny. Wszystkie opisy zawarte w celu rozprawy związane z masą, wytrzymałością, środkiem masy, obciążeniami pionowymi są przecież istotą wyodrębnienia trzech typów zadań transportowych, które w dalszej części pracy były przedmiotem szczegółowych badań.

Cel naukowy jest w moim odczuciu sformułowany poprawnie, choć zniknęło określenie jednostek ładunkowych jako *niejednorodnych* (a to jednak ujęcie szersze).

Cel utylitarny jest także poprawny, choć niepotrzebne są powtórzenia zwrotu *formowania jednostek ładunkowych* (z uwagą jak w celu naukowym).

Dodatkowo – na str. 42 - mgr inż. Kamil Popiela sformułowała tezę naukową rozprawy:

Modelowanie matematyczne umożliwia sformułowanie i rozwiązanie zadań optymalizacyjnych formowania jednostek ładunkowych, przy uwzględnieniu wytrzymałości i masy jednostek opakowaniowych oraz pomocniczych urządzeń ładunkowych, jak również opracowanie spełniającego wymagania praktyki algorytmu heurystycznego rozwiązywania tego problemu.

Warto zastanowić się, czy jest sens formułować tezę oczywistą, wręcz trywialną. Przecież modelowanie matematyczne umożliwia także sformułowanie zadań bez uwzględnienia masy, czy wytrzymałości jednostek opakowaniowych.

Natomiast na pewno z tak postawionej tezy nie wynika stwierdzenie Doktoranta (w tekście pracy – zdanie po tezie), że „...nadal jedynie metoda heurystyczna zapewnia uzyskiwanie rozwiązań analizowanego problemu w krótkim czasie” !

Ocena przeprowadzonych badań i analiz

Początkowe trzy rozdziały pracy są istotne dla zrozumienia problemów związanych z formowaniem jednostek ładunkowych. Treść rozdziału czwartego stanowią cele i teza pracy.

To co najważniejsze w pracy i decyduje o wartości tej rozprawy zostało zawarte w trzech rozdziałach:

- rozdz. 5 (*Model formowania jednostek ładunkowych*),
- rozdz. 6 (*Modele optymalizacyjne formowania jednostek ładunkowych dla wybranych zadań transportowych*),
- rozdz. 8 (*Metoda heurystyczna formowania jednostek ładunkowych*).

Rozprawa jest objętościowo bardzo obszerna, zatem trudno wymagać od Doktoranta, by wyczerpująco opisywał podejmowane w poszczególnych rozdziałach zagadnienia. Jednak konieczne jest aby w przyszłej pracy Autor ustrzegł się nieprecyzyjnych, niejasnych, trywialnych określeń (np. jednostka opakowaniowa umieszczona poniżej, powyżej, po lewej, po prawej – bez podania punktu odniesienia, podobnie kubatura jednostki, niewystawanie jednostki i wiele innych).

Wyjaśnienia wymaga także pojęcie *pomocnicze urządzenie ładunkowe*, czy paleta może być urządzeniem ?

Wymienię kilka ważniejszych, istotnych moim zdaniem, sformułowań koniecznych do weryfikacji. Fundamentalne pytania dotyczą obiektu badań, a właściwie jego modelu. Z przedstawionych w pracy opisów trzech zadań transportowych wynika, że tym, co je wyróżnia od znanych z literatury są parametry dotąd nieuwzględniane, m.in.:

- wytrzymałość jednostki opakowaniowej,
- wytrzymałość pomocniczych urządzeń ładunkowych,
- przenoszenie obciążeń pionowych,
- powierzchnia podparcia,
- dopuszczalny nacisk na jednostkę opakowaniową,
- środek masy.

Moim zdaniem przed sformułowaniem modelu Autor powinien precyzyjnie zdefiniować te pojęcia. Większość z nich z punktu widzenia wytrzymałości materiałów jest w pracy używana co najmniej niejednoznacznie.

Przykładem jest zapis na stronie 58:

...zdefiniowano ograniczenia uwzględniając wytrzymałość statyczną jednostek opakowaniowych i pomocniczych urządzeń ładunkowych na zgniatanie kolumnowe obciążeń pochodzących od jednostek opakowaniowych.

Pytania:

- co to jest wytrzymałość statyczna JO (także jej miara),
- co to wytrzymałość na zgniatanie kolumnowe.

Proszę o odpowiedź na te uwagi podczas obrony (1).

Podobnie jak zapis na stronie 96 (przy opisie ostatniego kroku):

...podejście...bazuje na matematycznej powierzchni podparcia w postaci linii łamanej otwartej, gdzie każdy z jej wierzchołków został opisany w przestrzeni trójwymiarowej za pomocą trzech współrzędnych...

Dodatkowo dla sytuacji ...uwzględniającej przenoszenie obciążeń pionowych, wytrzymałość powierzchni podparcia zostaje przypisana do łamanej – co to znaczy ?

...założono, że wytrzymałość ta jest równomiernie rozłożona na całej powierzchni nośnej jednostek opakowaniowych i pomocniczych urządzeń ładunkowych – co to znaczy ?

Str.103 - *W celu oceny poprawności uwzględnienia mas i wytrzymałości jednostek opakowaniowych i pomocniczych urządzeń ładunkowych oraz przenoszenia obciążeń pionowych przez jednostki opakowaniowe uwarunkowane ich powierzchniami podparcia ... rozwiązano przykład*

Proszę wyjaśnić co ten zapis oznacza. Proszę o odpowiedź na te pytania.

Zastrzeżenia do funkcji kryterium przedstawionej na stronie 60 (wzór 63).

- brak opisu wielkości pod wzorem jest dużym niedopatrzeniem Autora. Jeden z ważniejszych zapisów w pracy został potraktowany bardzo lapidarnie. Przy tak złożonym opisie zmiennych, ograniczeń, parametrów zawartych na kilku poprzednich stronach pojawia się model o tylko 5 zmiennych decyzyjnych. Na dodatek bliżej niesprecyzowany parametr pomocniczy U w różnych miejscach pracy jest różnie interpretowany.

Stwierdzenie ze str. 69, że...

jako podstawowe uwzględniono kryterium oceny rozwiązań interpretowane jako wypełnienie jednostek ładunkowych przy minimalizacji ich liczby – wg mojej oceny nie jest prawdziwe i wymaga wyjaśnienia.

Proszę o odpowiedź na uwagi związane z funkcją kryterium podczas obrony (2).

Treści zawarte w rozdziałach 7 (*Implementacja oraz weryfikacja zadań optymalizacyjnych formowania jednostek ładunkowych*) oraz 9 (*Implementacja komputerowa metody heurystycznej formowania jednostek ładunkowych w środowisku programistycznym PYTHON*) obejmują badania przeprowadzone przez Doktoranta dla trzech wcześniej sformułowanych zadań transportowych. W przypadku zadań optymalizacyjnych Autor zastosował aplikację LINGO (formalny zapis implementacji zawarty jest w załącznikach (Z1 - Z3; str.144-155). Natomiast aplikacja FJŁ opracowana z wykorzystaniem oryginalnego algorytmu heurystycznego opracowanego przez Doktoranta została napisana w środowisku PYTHON. Ocena metody zaproponowanej przez mgr inż. K. Popiełę została przeprowadzona dla trzech sformułowanych wcześniej zadań transportowych. Podsumowaniem przydatności autorskiego programu Formowania Jednostek Ładunkowych FJŁ były testy przedstawione w rozdziale 11 pracy (*Potencjał zastosowania implementacji algorytmu heurystycznego formowania jednostek ładunkowych*).

Z przeprowadzonych testów jednoznacznie wynika, że opracowane przez Doktoranta „narzędzie” wspomagające proces właściwego formowania jednostek ładunkowych może być z powodzeniem stosowane bezpośrednio w magazynach. Zaproponowana metoda heurystyczna jest poprawna i może być wykorzystywana w praktyce inżynierskiej. To **cenna wartość pracy**.

Przedstawione przez Doktoranta cztery modele opisane w rozdziałach 5 i 6 oraz opracowaną metodę heurystyczną zawartą w rozdziale 8 oceniam wysoko i stwierdzam, że wnioskowanie przedstawione w zakończeniu rozprawy jest w pełni uzasadnione.

Dodatkowe pytania i uwagi szczegółowe

1. Odnośnie opisu wielkości, parametrów zmiennych decyzyjnych (str. 40-70)

Większość zmiennych posiada bardzo skomplikowane nazwy, a w rzeczywistości czasem chodzi o prosty parametr, np. długość palety,
str. 47: wielkość $L(j)=L_j$ jest interpretowana jako długość j-tego urządzenia pomocniczego do formowania jednostek ładunkowych i jednostki ładunkowej tworzonej przy jego użyciu,

str. 48: $x(i)=x_i$ - ma interpretację współrzędnej punktów lewej ściany i-tej jednostki opakowaniowej na osi X;

str.49: $lx(i)=lx_i$ - ma interpretację wymiaru i-tej jednostki opakowaniowej wzdłuż osi X

- co to znaczy ma interpretację współrzędnej, wymiaru?

Str.54: $sx(i)=sx_i$ - ma interpretację współrzędnej środka masy i-tej jednostki wzdłuż osi X; jak tę interpretację wyznaczyć dla JO ?

2. W systemach technicznych konieczne jest uwzględnianie jednostek.

Str.76 Wartość funkcji kryterium = $0,133 \cdot 10^{10}$ - czego ?

Z obliczeń wynika, że wymiary podawano w mm, zatem można przypuszczać, że wynik jest podany w mm^3 , ale odejmowany parametr pomocniczy $U=10\ 000$ jest bardzo niejednoznacznie zinterpretowany (patrz np. str.69); czy ten parametr nie powinien zależeć od jednostki wymiarów długości, szerokości i wysokości
Str. 117 – tab.6 - masa JO w [kg], a dopuszczalny nacisk na JO też w [kg] – czy nacisk zależy od powierzchni ?

Podsumowanie i ocena końcowa

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Kamila Popieli pt. *Modelowanie matematyczne formowania jednostek ładunkowych dla wybranych zadań transportowych* podejmuje istotne problemy poznawcze o znacznym potencjale aplikacyjnym.

Uwagi zawarte w mojej recenzji nie zmieniają mojej bardzo pozytywnej opinii o rozprawie.

Całość pracy oceniam bardzo pozytywnie. Układ i struktura pracy są poprawne. Autor uzasadnia wybór tematu, podaje cele, dokonuje przeglądu osiągnięć innych badaczy, w sposób naukowy buduje model obiektu badań, przeprowadza jego implementację komputerową, prowadzi symulacje, dokonuje właściwej weryfikacji i oceny rozwiązań. Na dodatek opracowuje autorską metodę heurystyczną, która może znaleźć zastosowania w praktyce inżynierskiej.

Część niedociągnięć, zwłaszcza w nadmiernie rozbudowanej części modelowej, można przypisać brakowi doświadczenia w formułowaniu złożonych systemów.

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta zaliczam:

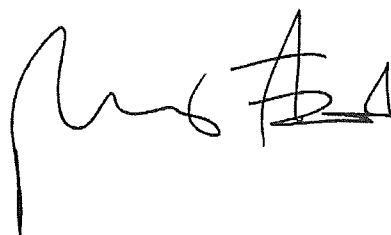
- opracowanie modelu ogólnego formowania jednostek ładunkowych,
- opracowanie modeli optymalizacyjnych dla trzech autorsko sformułowanych zadań transportowych:
 - formowanie niejednorodnych jednostek ładunkowych z uwzględnieniem podparcia i możliwości rotacji jednostek opakowaniowych,
 - formowanie niejednorodnych jednostek ładunkowych z uwzględnieniem podparcia, przenoszenia obciążeń pionowych i możliwości rotacji jednostek opakowaniowych,
 - formowanie niejednorodnych jednostek ładunkowych z uwzględnieniem mas i wytrzymałości jednostek opakowaniowych oraz warunków określających położenie środka masy
- autorskie opracowanie algorytmu heurystycznego formowania jednostek ładunkowych,
- opracowanie implementacji komputerowej FJŁ metody heurystycznej w środowisku PYTHON,
- umiejętność przygotowania, przeprowadzenia oraz weryfikacji badań komputerowych na podstawie opracowanych modeli matematycznych badanego problemu,
- umiejętność poprawnego wnioskowania na podstawie uzyskiwanych i zweryfikowanych wyników badań,

- możliwość bezpośredniego wykorzystania wyników pracy (autorska aplikacja FJŁ) w procesach logistycznych.

Ważnym elementem przedstawionej rozprawy jest także wskazanie przez Doktoranta kierunków dalszych badań (str. 130). Polecałbym przy tym dużą ostrożność w podejmowaniu prób uwzględnienia nieliniowej wytrzymałości powierzchni podstaw jednostek opakowaniowych, co Autor sugeruje w podp. J.

Na podstawie przeprowadzonej recenzji rozprawy doktorskiej mgra inż. Kamila Popieli pt. *Modelowanie matematyczne formowania jednostek ładunkowych dla wybranych zadań transportowych* jestem przekonany, że spełnione zostały wymagania określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o *Stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* w brzmieniu po wejściu w życie ustawy z dnia 23 czerwca 2016 roku o *zmianie ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym oraz niektórych innych ustaw*.

Tym samym wnoszę o dopuszczenie mgra inż. Kamila Popiele do publicznej obrony.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'K. Popiele'.