

dr hab. inż. Piotr Olszewski, prof. PW  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Politechnika Warszawska  
al. Armii Ludowej 16,  
00-637 Warszawa

Warszawa, 18.06.2015 r.

## **RECENZJA**

**pracy doktorskiej mgr inż. Rafała Kucharskiego pt.:**

**"Rerouting phenomena modelling of unexpected events in Dynamic Traffic Assignment (Modelowanie zjawisk zmiany trasy przejazdu w sytuacjach nietypowych)"**

### **1. Podstawa opracowania recenzji**

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała Kucharskiego zatytułowanej: "Rerouting phenomena modelling of unexpected events in Dynamic Traffic Assignment" została wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej zawarte w piśmie z dnia 20.04.2015 r., zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej z dnia 15.04.2015 r.

### **2. Charakterystyka pracy**

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Rafała Kucharskiego pt. "Rerouting phenomena modelling of unexpected events in Dynamic Traffic Assignment (Modelowanie zjawisk zmiany trasy przejazdu w sytuacjach nietypowych)", która powstała w Politechnice Krakowskiej pod kierunkiem dra hab. inż. Andrzeja Szaraty, prof. PK. Tematyka pracy dotyczy metodyki prognozowania ruchu drogowego a w szczególności modelowania dynamicznego rozkładu ruchu na sieć dróg.

Rozprawa o objętości 116 stron napisana została w języku angielskim. Praca zawiera spis treści, streszczenie, wykaz definicji, skrótów i oznaczeń, pięć rozdziałów tekstu podstawowego oraz spis literatury obejmujący 114 pozycji publikacji zagranicznych w języku angielskim i jedną w języku polskim. W tekście podstawowym są 44 ilustracje oraz 15 tablic. Praca zawiera także obszernie (14 stron) streszczenie w języku polskim z dziesięcioma ilustracjami.



Rozdział pierwszy przedstawia skrót najważniejszych osiągnięć pracy (*highlights*), streszczenie (*abstract*) w języku angielskim oraz zakres pracy (*outline*). W rozdziale 2 zawarto wykaz definicji, wykaz skrótów oraz spis symboli i oznaczeń.

We wstępie (rozdział 3 - *Introduction*), Autor przedstawia aktualny stan wiedzy i praktyki w dziedzinie modelowania Dynamicznego Rozkładu Ruchu na sieć drogową (DTA) oraz wynikający z niego problem naukowy polegający na braku adekwatnego odwzorowania zjawiska zmian trasy przejazdu pod wpływem niespodziewanych zdarzeń np. wypadków, zatorów, demonstracji, itp. W dalszej części rozdział 3 zawiera przegląd literatury na temat rozwoju metod DTA. Dziedzina ta rozwija się od ponad 40 lat, jednakże problem jest wielowymiarowy i bardzo skomplikowany zwłaszcza w ujęciu dynamicznym i dlatego w obecnej wiedzy nadal istnieją luki. Taką luką według Autora jest: „brak dynamicznego modelu rozkładu ruchu określającego stan sieci w następstwie zdarzenia nieoczekiwanego”.

Rozdział 4 (*Theoretical background*) omawia definicje, założenia i podstawy teoretyczne modelu DTA oraz sposób rozwiązania problemu dynamicznego rozkładu ruchu na sieć. Podstawowy model DTA jest wykorzystany przez Autora do budowy własnego rozszerzonego modelu, odzwierciedlającego zmiany tras przejazdu pod wpływem niespodziewanych zdarzeń. Autor omawia kolejno model popytu, model wyboru trasy przejazdu (RCM), model obciążania sieci (DNL), modele hybrydowe oraz ograniczenia przy zastosowaniu istniejących modeli. Kolejne modele cząstkowe są przedstawiane w formie schematów blokowych oraz układów równań.

W rozdziale 5 (*Rerouting models for DTA*) Autor przedstawia oryginalną metodę modelowania zmiany trasy – Model przyswajania (czy raczej dostosowania do) informacji (*Information Comply Model* - ICM) pod wpływem niespodziewanych zdarzeń. Metoda ta składa się z dwóch części: (1) model rozprzestrzeniania się informacji o zdarzeniu z wykorzystaniem różnych mediów, (2) model decyzji o zmianie trasy pod wpływem pozyskanej informacji. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest odzwierciedlenie różnych wariantów rozchodzenia się informacji z różną prędkością poprzez różne media, a także zróżnicowany wpływ tych informacji na decyzje różnych klas użytkowników.

W drugiej części rozdziału 5 Autor zaproponował alternatywną metodę DTA – Metodę Przesuwającego się Horyzontu (*Rolling Horizon DTA*). Stanowi ona pewne uproszczenie w stosunku do metody ICM, jednakże pozwala na odzwierciedlenie sytuacji, kiedy na sieci zaistnieją dwa (lub więcej) niespodziewane zdarzenia. Co więcej, dzięki uproszczonemu



algorytmowi można ją stosować w obliczeniach prowadzonych w czasie rzeczywistym, np. w centrum zarządzania ruchem dla prognozowania skutków niespodziewanych zdarzeń.

Rozdział 6 poświęcono omówieniu zagadnienia kalibracji modeli z wykorzystaniem obserwacji zjawiska zmiany trasy przejazdu na sieci drogowej. Autor rozważa dwa podejścia do kalibracji: (1) na podstawie obserwacji rzeczywistych ścieżek przejazdu pojazdów w sieci oraz (2) na podstawie obserwacji rzeczywistych natężeń ruchu. W końcowej części rozdziału przedstawiono studium przypadku, w którym analizowane są zmiany natężeń ruchu na mostach w Warszawie po częściowej blokadzie jednego z mostów.

W rozdziale 7 sformułowano wnioski oraz wskazano kierunki dalszych prac. Generalnym wnioskiem jest to, że zaproponowane modele pozwalają opisać zmiany stanu sieci drogowej po nieoczekiwanym zdarzeniu. Zadaniem na przyszłość jest dokładna kalibracja zaproponowanych modeli.

### **3. Ocena pracy**

#### **3.1. Temat pracy i problem naukowy**

Rozkład ruchu na sieć jest jednym z etapów 4-stadiowej metodyki prognozowania ruchu drogowego. Klasyczne metody dynamicznego rozkładu ruchu opierają się na założeniu, że sieć jest w stanie równowagi (zdefiniowanej przez Wardrop'a w roku 1952). Równowagę tą mogą zaburzyć zdarzenia drogowe np. wypadki, zatory, itp., informacja o których powoduje, że kierowcy w trakcie podróży mogą zmienić zaplanowaną trasę przejazdu. Pożądane jest więc określenie jaki będzie stan sieci drogowej w takiej sytuacji, tzn. gdy część kierowców zmieni pierwotnie wybraną trasę - i rozwiązanie tego zadania jest celem pracy. Problem naukowy został więc wybrany prawidłowo. Jest to problem nietrywialny, nierozwiązany teoretycznie a przy tym rozwiązanie go ma znaczenie praktyczne. We współczesnym dynamicznym zarządzaniu ruchem w sieciach drogowych potrzebne jest narzędzie do prognozowania ruchu w czasie rzeczywistym dla sieci zaburzonej przez wypadki i niespodziewane zatory.

#### **3.2. Ocena zastosowanych metod**

Podstawą badań był gruntowny przegląd literatury światowej na temat dynamicznego rozkładu ruchu na sieć. Autor wykorzystał w pracy 114 pozycji literatury naukowej w języku angielskim. Studia literaturowe dały Autorowi niezbędną wiedzę teoretyczną na temat



modelowania sieci drogowych i procesów ruchu a jednocześnie pozwoliły wybrać nowoczesne narzędzia obliczeniowe.

Do rozwiązania zdefiniowanego problemu naukowego Autor zastosował podejście teoretyczne. Na podstawie istniejącego modelu teoretycznego rozkładu ruchu na sieć, sformułował nowy model rozszerzony, uwzględniający zjawiska zmiany trasy przejazdu pod wpływem informacji o zaistnieniu zdarzenia niespodziewanego, zmieniającego warunki ruchu. Model opisuje proces rozprzestrzeniania się informacji o zdarzeniu różnymi kanałami oraz uwzględnia stochastyczny proces podejmowania przez kierowców decyzji o zmianie zaplanowanej trasy. Model został przedstawiony w formie schematów blokowych oraz zapisany w formie układu równań przedstawiających zależności zmiennych opisujących proces rozkładu ruchu na sieć w warunkach zaburzenia równowagi.

Po wdrożeniu algorytmu obliczeniowego w środowisku DTA Autor wykonał obliczenia testowe na przykładowej sieci drogowej i dla kilku wariantów rozchodzenia się informacji. Wyniki obliczeń wykazują, że stworzone algorytmy odzwierciedlają zjawisko zmiany pierwotnie zaplanowanej trasy przejazdu przez niektórych kierowców pod wpływem informacji o zdarzeniu. Autor wykazał, że model może być zastosowany do analizowania skutków różnych sposobów i różnej szybkości dostarczania informacji o zdarzeniach.

Istotnym elementem przedstawionego w pracy rozwiązania problemu DTA w warunkach zaburzenia równowagi w sieci drogowej przez niespodziewane zdarzenia jest zaproponowanie procedury kalibracji modeli na podstawie metody największej wiarygodności, łącznie z wyprowadzeniem odpowiednich wzorów. Przeprowadzenie dokładnej kalibracji wymaga jednak danych, które są obecnie niedostępne.

### 3.3. Osiągnięcia Autora

Najważniejsze osiągnięcia Autora przedstawione w rozprawie to:

- Sformułowanie teoretycznego modelu dostosowania się ruchu w sieci do informacji o niespodziewanym zdarzeniu (ICM), uwzględniającego proces rozprzestrzeniania się informacji różnymi kanałami oraz procesy podejmowania przez kierowców decyzji o zmianie zaplanowanej trasy.



- Sformułowanie modelu dynamicznego rozkładu ruchu w sieci metodą przesuwającego się horyzontu (RH-DTA), który umożliwia prognozowanie w czasie rzeczywistym zmian stanu sieci pod wpływem wielu równocześnie zachodzących zdarzeń.
- Wdrożenie obu zaproponowanych algorytmów ICM oraz RH-DTA w nowoczesnych programach komputerowych (w pakiecie Optima oraz w programie PTV Visum), stosowanych do rozkładu ruchu na sieć.
- Zaproponowanie metody kalibracji modeli metodą maksymalnej wiarygodności na podstawie obserwacji zmian ścieżek wybieranych przez kierowców pojazdów lub zmian natężeń ruchu w sieci drogowej.
- Wykazanie przy pomocy przykładu z Warszawy, że analizowane zjawisko zmiany tras przejazdu po zdarzeniu ma miejsce i można je zmierzyć w praktyce.

W sumie, według opinii recenzenta, rozprawa stanowi oryginalne, wartościowe, autorskie opracowanie spełniające warunki stawiane rozprawom doktorskim. Zaproponowane modele są pierwszymi modelami rozkładu ruchu na sieć, które opisują zjawisko zmiany trasy przez kierowców pod wpływem niespodziewanych zdarzeń. Autor wykazał umiejętność zastosowania narzędzi takich jak statystyka matematyczna i teoria prawdopodobieństwa w modelowaniu procesów ruchu oraz wdrożenia algorytmów w modelach obliczeniowych. Wyniki badań mają istotne znaczenie dla praktyki prognozowania ruchu, zwłaszcza dla prognozowania zmian stanu sieci w czasie rzeczywistym.

Generalnie pozytywna ocena rozprawy nie oznacza, iż nie budzi ona szeregu uwag krytycznych. Sformułowano je w kolejnym punkcie.

## 4 Uwagi

### 4.1. Uwagi ogólne

- W pracy stosowany jest skomplikowany system oznaczeń wywodzący się z praktyki DTA – dla wielu zmiennych stosuje się indeksy dolne i górne, są też zmienne wektorowe. Niestety, nie wszystkie oznaczenia są wyjaśnione w spisie oznaczeń (brak np.:  $D$ ,  $d$ ,  $V$ ,  $R$ ,  $E$ ,  $U$ ,  $\eta$ ). Co gorsza zdarza się, że tym samym symbolem oznaczane są w różnych częściach pracy zupełnie różne zmienne (np.  $a$  = numer łuku w sieci a gdzie indziej  $a$  = natężenie ruchu;  $r$  = *splitting rate* a gdzie indziej  $r$  = liczba pojazdów zmieniających trasę;  $\varepsilon$  = zdarzenie na sieci a gdzie indziej  $\varepsilon$  = ekstra potok pojazdów). System oznaczeń wymaga uporządkowania i



lepszego opisanie. Wielkości fizyczne powinny mieć podane jednostki (np. natężenie ruchu poj./s). Wektory i macierze powinny mieć podane wymiary.

- Zaproponowany przez Autora model wyboru: zmienić trasę czy pozostać na pierwotnej ścieżce jest przedstawiony jako binarny logitowy model wyboru oparty na zasadzie maksymalnej użyteczności. Jednakże forma wzoru (5.23) nie odpowiada ogólnej formie modelu przedstawionej poniżej:

$$P_{n1} = \frac{e^{V_{n1}}}{e^{V_{n1}} + e^{V_{n2}}} = \frac{1}{1 + e^{-(V_{n1} - V_{n2})}}$$

gdzie:

$P_{n1}$  = prawdopodobieństwo wyboru wariantu (trasy) 1,

$V_{n1}$  = użyteczność trasy 1,

$V_{n2}$  = użyteczność trasy 2.

Twierdzenie Autora na stronie 50, że „*utility of not rerouting in binominal model is by definition assumed to be to zero*” nie jest prawdziwe. Jedyne we wzorze powyżej to nie  $\exp(0)$  tylko rezultat podzielenia licznika i mianownika przez  $\exp(V_{n1})$ . A więc we wzorze powinna występować różnica użyteczności dla trasy 1 i trasy 2. Zaproponowana przez Autora forma modelu być może sprawdza się w praktyce obliczeniowej DTA, biorąc pod uwagę praktyczne uwarunkowania, jednakże nie powinna być przedstawiana jako odwzorowanie procesu podejmowania decyzji przez kierowców na podstawie maksymalizacji użyteczności. Zresztą czy kierowcy przy podejmowaniu decyzji o zmianie trasy mogą kierować się takimi abstrakcyjnymi wielkościami jak  $\Delta p$  i  $\Delta w$ ? I na jakiej podstawie mieliby szacować te wielkości?

- Przedstawiony w rozdziale 6.2 sposób kalibracji modelu ICM na podstawie obserwacji bezpośrednich budzi wątpliwości. Czy można oprzeć kalibrację na obserwacji zmiany trasy w pojedynczym punkcie  $r$ , tam gdzie zmiana ta jest najbardziej prawdopodobna? Nawet gdyby założyć, że mamy pełną informację o trasach wybranych przez kierowców na konkretnej ścieżce O-D, to przecież w procesie stochastycznym kierowcy będą podejmować decyzje o zmianie trasy w różnych punktach. W podanym przykładzie obliczeniowym (rys. 5.9 na str. 59) kierowcy zmieniają trasę w węzłach 5, 6 i 7, jaka jest więc wartość  $r$ ? Proces kalibracji powinien więc uwzględniać proporcje kierowców, którzy zmieniają trasę w różnych punktach sieci drogowej.



- Zaproponowany przez Autora model ICM dobrze odzwierciedla proces decyzyjny wyboru nowej trasy w sytuacji gdy kierowcy pozyskują informację ogólną o zdarzeniu, np. „wypadek i zator na odcinku X”. Jednakże czasem informacji takiej towarzyszy zalecenie np. „zalecany objazd przez most Y” wyświetlane np. na znaku VMS. Kierowca nie podejmuje wtedy decyzji o tym jaką nową trasę ma wybrać tylko czy zastosować się do zalecenia czy nie. Podobnie systemy nawigacyjne działające w czasie rzeczywistym po wykryciu zdarzenia „prowadzą” kierowców po nowej trasie, czasem bez ich świadomego udziału. Nowa trasa jest obliczana przez system nawigacji na podstawie jakiegoś nieujawnionego algorytmu. Uwzględnienie tych zjawisk w modelu ICM wymaga wprowadzenia nowej kategorii użytkowników i być może modyfikacji modelu.

#### 4.2. Uwagi szczegółowe

- str. 28 – Nie jest wyjaśnione co reprezentuje i jaki rozmiar ma wektor (lub macierz)  $d$ . Czy jest to macierz podróży źródło-cel (O-D)?
- str. 45 – Przy obliczaniu  $M$  wybiegamy w przyszłość stosując przedział  $(\tau - \Delta\tau^-; \tau + \Delta\tau^+)$  zamiast  $(\tau - \Delta\tau^-; \tau)$ . Skąd wiadomo jakie będą przyszłe czasy przejazdu w sieci? Czy nie oznacza to przyjęcia, że informacja cofa się w czasie?
- str. 50 – Zastosowanie we wzorze (5.23) dodatkowego parametru skalującego  $\eta$  wydaje się zbędne (jest to dodatkowa niewiadoma), gdyż przy kalibracji skalowanie uwzględnią wartości parametrów  $ASC$ ,  $\beta_{\Delta p}$  oraz  $\beta_{\Delta w}$ .
- str. 54 – Schema 4: przedstawienie zmian stanów ruchu na łuku „a” w formie łańcucha Markova nie może abstrahować od czasu. W jakim przedziale czasu prawdopodobieństwo przejścia ze stanu  $a$  do stanu  $q$  wynosi  $\kappa$ ? Czy jest to przedział czasowy symulacji czy też czas przejazdu odcinka  $t_a$ ?
- str. 59 – Nie jest wyjaśnione jak sumują się informacje z różnych źródeł. Czy źródła informacji są rzeczywiście niezależne? Na przykład kierowcy, którzy usłyszeli przez radio coś o wypadku będą bardziej uważnie wypatrywać oznak zatoru. Informacja o wypadku z centrum zarządzania ruchem wyświetlana na VMS powinna być też przekazana do radiostacji.



- str. 62 – Jak wyjaśnić fakt, że w tabeli 5.4 wielkości  $\Delta p$  i  $\Delta w$  są takie same jak w tabeli 5.2 i 5.3, pomimo większego zaburzenia ruchu w sieci (większe wartości  $M$ )? Czy większe straty czasu w sieci nie powinny wpływać na wielkości  $p$  i  $w$ ?
- str. 87 – Po podstawieniu do wzoru (6.14) wartości  $\alpha = 90\%$  otrzymamy:  $(1 - \alpha/2) = 0,55$ . Chyba powinno być  $\alpha = 10\%$ ?

#### 4.3. Uwagi językowe i redakcyjne

- Decyzja Autora napisania rozprawy w języku angielskim zasługuje ze wszelkich miar na pochwałę, jako że Autor wpisuje się tym w nurt światowych publikacji na temat rozwijania metod DTA. Jednakże wyzwanie to nieco przerosło Autora, gdyż praca jest niedopracowana pod względem językowym – zdarzają się błędy gramatyczne i językowe, które utrudniają czytanie fragmentów pracy. Są przypadki pomieszania w zdaniu liczby pojedynczej i mnogiej oraz niewłaściwego stosowania przedimków. Przykładowo, tytułowe słowo „*phenomena*” nie jest używane w liczbie pojedynczej (*phenomenon*) chociaż tak wynika z kontekstu.
- Tłumaczenie nazwy proponowanego modelu *Information Comply Model* jako „Model Przyswajania Informacji” nie wydaje się właściwe. Chodzi przecież nie tylko o przyswojenie informacji ale i o reakcję na nią w formie zmiany trasy. Należy poszukać lepszej nazwy – lepiej oddającej znaczenie słowa „comply” – np.: „Model dostosowania do informacji”.
- Spis treści powinien być uzupełniony o spis rysunków i spis tablic.
- Odniesienia do równań powinny mieć formę: see eq. (5.2) – inaczej nie wiadomo czy chodzi o równanie 5.2 czy o rozdział 5.2.
- W tekście brak jest równań 5.1, 5.2 i 5.5.
- Skrót i.e. (*id est* oznaczający „to znaczy”) stosowany jest często tam gdzie powinien być skrót e.g. (*exempli gratia* = na przykład).
- Część odwołań do literatury nie jest właściwie zredagowana. Jeżeli nazwisko autora jest częścią zdania (a nie wtrąceniem) to w nawiasie podaje się tylko rok publikacji a nie nazwisko i rok. Na przykład prawidłowa forma to: *Smith (1990) proposed a new network model* - a nieprawidłowa: (*Smith 1990*) *proposed a new network model*.



Powyższe uwagi w najmniejszym stopniu nie dyskwalifikują rozprawy, która – jak to stwierdzono wcześniej – zasługuje na wysoką ocenę. Uwagi mają w założeniu pomóc Autorowi w przygotowaniu poprawionej wersji pracy przed jej publikacją.

## **5 Podsumowanie i wniosek końcowy**

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr inż. Rafała Kucharskiego zatytułowaną "Rerouting phenomena modelling of unexpected events in Dynamic Traffic Assignment", która powstała w Politechnice Krakowskiej pod kierunkiem dra hab. inż. Andrzeja Szaraty prof. PK, stwierdzam, że w pracy tej Autor przedstawił oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Ponadto praca świadczy o tym, że mgr inż. Rafał Kucharski posiada ogólną wiedzę teoretyczną z dziedziny systemów transportowych i metodyki komputerowego prognozowania ruchu oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Oznacza to, że praca spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (dz. U. nr 65, poz. 595 z późn. zm.) i w związku z tym wnioskuję o dopuszczenie jej do obrony publicznej.

Piotr Olszewski

