



dr hab. inż. Andrzej Szarata, prof. PK
Katedra Systemów Transportowych
Instytut Inżynierii Drogowej, Kolejowej i Transportu
Politechnika Krakowska

Kraków, dnia 3 kwietnia 2018 r.

Recenzja

pracy doktorskiej

mgr inż. Tomasza KRUKOWICZA

**p.t.: „Metoda tworzenia algorytmów sterowania adaptacyjnego
dla skrzyżowań odosobnionych”**

(Promotor: dr hab. inż. Piotr Kawalec, prof. PW)

Podstawą opracowania recenzji jest pismo prof. dr hab. inż. Krzysztofa Zboińskiego, Prodziekana ds. Nauki na Wydziale Transportu, Politechniki Warszawskiej, z dnia 5 lutego 2018 r.

Recenzowana praca doktorska związana jest z problematyką projektowania programów sygnalizacji świetlnej. W związku ze stale pogarszającymi się warunkami ruchu ulicznego, wybrany temat jest aktualny i ważny nie tylko z inżynierskiego punktu widzenia. Autor wybrał obszar sterowania skrzyżowaniami odosobnionymi, poprzedzając swoje analizy szczegółowym przeglądem prac innych autorów oraz obowiązujących aktów prawnych. W efekcie zaproponował własne algorytmy sterowania ruchem z uwzględnieniem przejść międzyfazowych i wyznaczenia warunków czasowych funkcjonowania algorytmu. Praca ma bardzo wysokie walory praktyczne, i z pewnością znajdzie szerokie zastosowanie praktyczne w projektowaniu skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Bardzo dobrze wypełnia braki w literaturze polskiej w tym zakresie.

Rozprawa jest obszerna, liczy 184 strony i została podzielona na 9 rozdziałów właściwych. Dodatkowo zestawiono bibliografię oraz rysunki i tabele.

1. Ocena poszczególnych części rozprawy

Wprowadzenie (**rozdział 1**) rozpoczyna się od wyjaśnienia genezy pracy. Jest to bardzo dobrze zredagowany rozdział odwołujący się do celów pracy i uzasadniający podjęcie tematu rozprawy. W rozdziale tym Autor dogłębnie nakreśla problem badawczy jednocześnie definiując znaczenie podjętego zagadnienia w kontekście oczekiwań uczestników ruchu drogowego. Nakreślony problem badawczy przedstawia z punktu widzenia doświadczonego projektanta sygnalizacji świetlnej, wskazując na słabe strony dotychczasowych podejść. Można jednak odnieść wrażenie, że przedstawiony zakres badań ma charakter bardziej praktyczny niż naukowy.

W **rozdziale 2** Doktorant przedstawia szczegółowy i szeroki przegląd literatury odnosząc się do norm prawnych, ale i publikacji naukowych z przedmiotowego zakresu. Daje tym samym dowód, że w oparciu o znajomość bardzo wielu źródeł literaturowych, swobodnie porusza się w problematyce projektowania sygnalizacji świetlnej. Razi nieco nadmiar dość częstych odwołań do podstawowych definicji (np. s. 13 czy s. 40), przez co czytelnik może miejscami odnieść wrażenie korzystania z podręcznika dla początkujących. W przeglądzie przykładów różnych podejść, Doktorant dobrze wydobyl ich istotę, wskazując na różnorodność ujęć i stosowanych metod projektowania. Pojawia się pytanie, dlaczego w przeglądzie literatury, Autor odniósł się prawie wyłącznie do źródeł krajowych? W całym spisie literatury znajduje się kilkanaście pozycji zagranicznych, z czego większość to instrukcje. Pojawia się pytanie, jak wygląda kwestia projektowania sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu odosobnionym w innych krajach? Czy inni autorzy dostrzegli podobny problem?

W **rozdziale 3**, Doktorant definiuje cel i tezy pracy wskazując na jeden główny, nie wskazując celów cząstkowych, które również są bardzo wartościowe z praktycznego punktu widzenia, a których rozwiązania zostały opisane w kolejnych punktach pracy (punkty 4-8). Merytorycznie cel pracy jest dobrze nakreślony, jednakże zdefiniowanie go jako uwzględniającego specyfikę warunków polskich, wydaje się niewłaściwe. Przedstawione specyficzne warunki dla Polski uwzględniają w rzeczywistości warunki wynikające z zapisów prawnych, a w takim ujęciu Autor powinien uzasadnić, z czego one wynikają oraz jak wyglądają na tle doświadczeń zagranicznych. Przy braku tego porównania, wydaje się trudnym stwierdzenie, na czym polega owa polska specyfika. Cel pracy sugeruje również, że Autor powinien się zajmować zachowaniami kierujących, które mogą być specyficzne w różnych krajach i dlatego uwzględniane są różne rozwiązania prawne w zakresie projektowania sygnalizacji świetlnej (np. wyższe prędkości na dojazdach, mniejsza chęć ustępowania pierwszeństwa, wymuszania pierwszeństwa, agresywność poruszania się itd.). Wyjaśnienia wymaga pojęcie efektywności – w tezie dysertacji pojawia się pojęcie rozwiązania efektywnego, a w świetle dość szczegółowych definicji zagadnień podstawowych we wcześniejszej części rozprawy, przy formułowaniu tezy zabrakło tej najważniejszej. Niemniej jednak zakres tematyczny postawionej tezy, pomimo jej mocno praktycznego charakteru, należy uznać za właściwy i świadczący o dobrym rozpoznaniu podejmowanej przez Autora problematyki.

W **rozdziale 4**, stanowiącym istotny element rozprawy, przedstawiona jest autorska procedura projektowania sterowania adaptacyjnego. Jako jeden z najważniejszych rozdziałów, powinien być silniej podkreślony, zwłaszcza jego zakończenie, które powinno stanowić podbudowę do dalszych rozważań, tymczasem on się rozmywa (wyraźnie daje się odczuć brak podsumowania wskazującego na dalsze postępowanie) - w rozdziale tym powinny się znaleźć założenia do budowy algorytmu. Wydźwięk tego rozdziału jest zbyt praktyczny, a początek jest oczywisty i bez szkody dla całej dysertacji można by go było pominąć. Wartościowy jest rozdział 4.3., a przedstawiony w nim opis może być traktowany jako wzorcowy dla dalszej części pracy (odniesienie do przepustowości nie jest konieczne).

Jest to bardzo dobry rozdział, niosący duży ładunek merytoryczny i z całą pewnością stanowi duży wkład Autora w proces projektowania sygnalizacji świetlnej. Jednakże w rozdziale tym zabrakło podsumowania, pozwalającego na wyciągnięcie wniosków z poruszanych kwestii i wskazaniu dalszych działań.

Rozdział 5 dysertacji dotyczy etapów przygotowawczych metod projektowania algorytmów sterowania ruchem. W oparciu o bazowy program sygnalizacji świetlnej, przedstawiono zasady jego możliwego zastosowania do budowy pełnego algorytmu sterowania ruchem. W trakcie analiz wskazano na zasadność zmiany składu faz ruchu wpływających na większą elastyczność pracy algorytmu sterowania. Doktorant zdefiniował również kryteria tworzenia nowych faz ruchu i przekształcania schematu faz na graf sterowania. Opracowany graf stanowi podstawę (w dalszej części pracy) do projektowania przejść międzyfazowych oraz określania warunków czasowych. Przyjętą procedurę oceniam bardzo wysoko, ponieważ prowadzi do wypracowania złożonych algorytmów. Prezentowane podejście jest bardzo rozbudowane, a Autor przybliżył koncepcję budowy modelu na czytelnych schematach. Szczegółowy opis prowadzonych prac projektowych świadczy o bardzo wysokich kompetencjach Autora i dużym doświadczeniu w projektowaniu sygnalizacji świetlnej. Pomimo złożoności zagadnienia, Autor w sposób bardzo dobry prowadzi linię wyjaśnienia istoty modeli i poprzez uporządkowanie przedstawiania procedur tworzy spójną całość.

Rozdział 6 dotyczy kwestii projektowania przejść międzyfazowych. Autor definiuje wymagania procesu ich projektowania bazując na dostępnych materiałach źródłowych (głównie autorskich). Zasady zostały przedstawione w formie wektora przejścia międzyfazowego, macierzy rzeczywistych czasów międzyzielonych i wektorów końców i początków sygnałów zezwalających, uwzględniając zagadnienia obsługi sygnałów dopuszczających skręcanie w kierunku wskazanym strzałką. Doktorant sformułował kryteria optymalizacji oraz ograniczenia dotyczące przedstawionych metod. Interesujący jest fragment o różnych funkcjach celu dla minimalizacji czasu trwania przejść międzyfazowych, ale wydaje się, że powinien być on poparty analizą wpływu na funkcjonowanie skrzyżowania. W tym miejscu należy po raz kolejny podkreślić wysokie kompetencje Autora i jego umiejętność syntetycznego przedstawiania bardzo złożonych problemów w czytelnej formie. Przedstawiony przez Autora przegląd metod projektowania i wieloaspektowe / wielowątkowe podejście do problematyki jest na najwyższym poziomie. W rozdziale można dostrzec bardzo duże zaangażowanie Doktoranta w proces projektowania sygnalizacji świetlnej i liczne odwołania do Jego praktycznych doświadczeń. Natomiast zabrakło nieco odwołań do

rzeczywistych sytuacji – pokazania efektywności działania na konkretnym skrzyżowaniu, co miałyby walor poznawczy i jednocześnie użyteczny (wprawdzie Autor pokazuje procedurę na przykładzie, lecz jest to wirtualne skrzyżowanie).

Rozdział 7 obejmuje zagadnienia wyznaczania warunków czasowych w algorytmach sterowania ruchem. Doktorant scharakteryzował rolę warunków czasowych oraz dokonał ich klasyfikacji. Jednakże najważniejszą częścią rozdziału jest autorska procedura bazująca na przekształcaniu grafów, tworzeniu sieci oraz analizie dróg w opracowanych sieciach (proponowana metoda upraszcza dotychczasowe podejścia projektowania). Autor opracował własny program wspomagający proces projektowania, a wyniki jego aplikacji zestawiał tabelarycznie. Nie znaleziono informacji, czy opracowane narzędzie działa równie dobrze na innych przykładach – czy Autor przeprowadził testy narzędzia dla innych programów sygnalizacji? Czy były prowadzone analizy wrażliwości? Czy rozwiązanie przedstawione w tabelicy 7.2 jest optymalne?

Rozdział 8 zawiera zasady tworzenia algorytmów sterowania sygnalizacją świetlną. Autor zastosował tutaj metodę grafów z wierzchołkami hierarchicznymi. Przedstawione podejście stanowi autorską metodę bazującą na sieci sekwencji faz. Opracowana metoda upraszczania struktury wewnętrznej faz ruchu jest jednak zbyt skrótowo opisana i dla czytelnika nie jest jasne, jak można ją zastosować. Wydaje się jednak, że wartościowym byłoby rozwinięcie tej części i jej szersze omówienie. Przedstawiona metoda projektowania, ma liczne zalety i pozwala m.in. na szybsze obliczenia oraz wyraźnie mniejszą liczbę błędów. Podobnie jak we wcześniejszym rozdziale, Autor przedstawił weryfikację metody, jednak opis tej weryfikacji jest dość lakoniczny i można by się spodziewać bardziej aplikacyjnego zwięźszenia prowadzonych prac.

Rozdział 9 zawiera wnioski i podsumowanie prowadzonych analiz. Jest to bardzo dobrze napisany rozdział, wskazujący na osiągnięte wyniki i potwierdzający spełnienie założonej tezy. W pełni zgadzam się z wymienionymi w rozdziale najważniejszymi efektami rozprawy. Pewien niedosyt pozostawiają nakreślone kierunki dalszych badań – wydaje się, że dalsze prace powinny iść raczej w kierunku bardziej naukowym niż praktycznym: np. w stronę opracowania metod oceny przyjętych rozwiązań.

Bibliografia w liczbie 178 pozycji jest dość obszerna, została starannie dobrana i zestawiona, jednak w zdecydowanej większości są to pozycje krajowe. Wydaje się, że zabrakło pozycji zagranicznych pokazujących szerszy kontekst prowadzonych analiz. Może warto się zastanowić, czy aby opracowane algorytmy sterowania lub inne podejścia do prezentowanego zagadnienia nie występują w literaturze światowej.

Zebrane źródła są różnorodne: głównie są to referaty i artykuły, lecz także pozycje monograficzne, ustawy, instrukcje i źródła internetowe. Część literatury stanowią źródła niepublikowane (prace magisterskie, materiały dydaktyczne), co powoduje trudności w ich wykorzystaniu dla czytelnika i ewentualnej interpretacji. W sumie jest to przydatny zbiór dla każdego projektanta zajmującego się projektowaniem sygnalizacji świetlnej.

Wśród tych 178 pozycji jest 36 publikacji Doktoranta (w tym 5 samodzielnych). Wszystkie publikacje są publikacjami krajowymi.

2. Uwagi szczegółowe:

1. Stosowanie przypisów z podstawowymi definicjami nie jest potrzebne, skoro można zastosować odniesienia do literatury.
2. Praca fragmentami brzmi jak instrukcja czy wytyczne projektowania; znajdują się w niej części, które można skrócić bez istotnego wpływu na zawartość pracy. Miejscami jest ona zbyt oczywista dla osób znających zagadnienie.
3. S.32 – Opis dotyczący bezpieczeństwa ruchu powinien być odniesiony nie do ogólnej liczby wypadków, a do wypadków na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną. Dopiero wówczas jest to miarodajne i zasadne dla potrzeb niniejszej rozprawy.
4. Autor powinien powoływać się na nowszą literaturę np. pozycja 158 w odniesieniu do przedstawionego problemu jest już od dawna nieaktualna – nie powinno się bazować na publikacjach z 1991 roku bez stosownego komentarza. Uwaga ta dotyczy również instrukcji HCM2000.
5. S. 33 – Autor odnosi się do specyfiki krajowej, przecząc jednocześnie tej tezie przez powołanie się na wymagania BRD, które wszędzie powinny zapobiegać powstawaniu zdarzeń drogowych
6. S.43 – opis stosowanych zmiennych powinien pojawić się na początku pracy.
7. W rozdziale 4 pojawiają się liczne odwołania do źródeł z początku lat 90tych w tym do wskazywanego już HCM 2000.
8. S. 65 – Autor odwołuje się do rozdziału 5.3 – wydaje się, że to pomyłka i powinno być odwołanie do rozdziału 2.3, gdzie było zawarte oszacowanie liczby przejść międzyfazowych. Jeżeli jednak nie ma pomyłki (w punkcie 5.3 występuje również takie oszacowanie), to odnoszenie się do późniejszego tekstu jest niepoprawne.
9. S. 71 – w pierwszym akapicie użyte sformułowania brzmią jak instrukcja, a nie rozprawa naukowa.
10. S. 88 – wątek przedstawiony w rozdziale 6.1.3 był już kilkakrotnie poruszany
11. S. 95 – wątpliwym jest zapis o istnieniu wielu rozwiązań optymalnych, (jeżeli jest ich wiele, to nie mogą być jednocześnie optymalne).
12. Pytanie ogólne – czy zasadne jest stosowanie pojęcia podfazy w rozwiniętych algorytmach sterowania?

3. Ocena redakcji pracy

Układ całości pracy jest logiczny, czytelny i cechuje się wysoką gęstością merytoryczną, a wywód prowadzony jest konsekwentnie. Jedyną uwagę można mieć do częstych powtórzeń nakreślonych problemów i wyjaśnień bardzo prostych i podstawowych pojęć z zakresu inżynierii ruchu.

Uporządkowanie treści w obrębie rozdziałów i podrozdziałów jest trafne, poza nielicznymi mniej znaczącymi wyjątkami. Kilkakrotnie dostrzeżono, iż opis metod jest zbyt

skrótowy jak na oczekiwania ich pełnego przedstawienia, lecz wobec znacznej obszerności dysertacji, w zasadzie nie stanowi to istotnego uchybienia.

Praca jest bardzo dobrze zredagowana – nie dostrzeżono tzw. literówek ani innych błędów edycyjnych (poza nielicznymi wyjątkami). Świadczy to o bardzo dużym nakładzie pracy Doktoranta. Język rozprawy jest miejscami - ze względu na używanie rozbudowanej i specjalistycznej terminologii – hermetyczny i trudny w odbiorze.

4. Ogólna ocena pracy

Na podkreślenie zasługuje sam fakt podjęcia bardzo trudnej i bardzo wąskiej problematyki oraz rozległość i precyzja wykorzystywanych wielu źródeł, z którymi Doktorant nie tylko wnikliwie zapoznał się, ale wykazał że rozumie ich istotę i trafnie je syntetyzuje. Doktorant rozwiązał problem praktyczny posługując się pogłębionym opisem formalnym wykazując się ogromną wiedzą i doświadczeniem w stosowaniu narzędzi optymalizacyjnych.

Podjęty problem jest bardzo ważny z inżynierskiego punktu widzenia, jednak można odnieść wrażenie, że warstwa naukowa nie była wystarczająco podkreślona. Rozwiązując go Doktorant wykazał doświadczenie wynikające ze sprawnego posługiwania się zastosowaną metodą oraz posiadał w wysokim stopniu znajomość procesów projektowania sygnalizacji świetlnej.

Recenzowana praca doktorska pomimo zgłoszonych uwag, głównie o charakterze wątpliwości bądź usterek (zapewne znaczna część z nich jest dyskusyjna), jest ambitnie zamierzoną dysertacją o charakterze użytkowym. Uwagi szczegółowe mają głównie charakter redakcyjny, mogą być wykorzystane w poprawie jakości, w tym czytelności zamierzonych publikacji obejmujących poszczególne fragmenty dysertacji.

5. Wniosek końcowy i jego uzasadnienie

Uzasadnieniem pozytywnej oceny pracy są następujące jej walory:

- Główną zaletą pracy jest usystematyzowanie i sformalizowanie zapisów w zakresie projektowania skrzyżowań z sygnalizacją świetlną w Polsce.
- Za osiągnięcie pracy należy przede wszystkim uznać opracowanie nowej metody tworzenia algorytmów sterowania adaptacyjnego, która ułatwia tworzenie algorytmów, poprzez stosowanie makrobloków.
- Zaproponowane zasady projektowania algorytmów formalizują proces ich tworzenia, pozwalają na skrócenie czasu tworzenia algorytmów oraz zmniejszają liczbę pomyłek
- Bardzo dobrze opisany całościowo problem z uwzględnieniem wielu kryteriów projektowania skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, dotychczas nieusystematyzowanych w literaturze krajowej.
- Opisanie zagadnienia wyznaczania warunków czasowych dla algorytmu sterowania ruchem. W toku analizy wyróżniono ponad 20 zasad określania warunków czasowych.
- Kompleksowe podejście do problemu przejść międzyfazowych, Sformalizowany zapis przejść międzyfazowych z uwzględnieniem wielu kryteriów.
- Analiza przepisów oraz wymagań zarządzających ruchem w zakresie bezpieczeństwa ruchu oraz efektywności sterowania, które pozwoliły na sformułowanie wymagań

formalnych dla adaptacyjnego sterowania ruchem. W obydwu grupach wyróżniono i sformalizowano wiele wymagań, które dotychczas nie były opisywane w literaturze.

- Doskonała orientacja w krajowym stanie badań i umiejętność ich syntetycznego przedstawienia.
- Wkład w rozwój metody projektowania sygnalizacji świetlnej.
- Zaprezentowane przez jej Autora bardzo wysokie kompetencje merytoryczne.
- Doprowadzenie do efektywnego rozwiązania postawionego zadania.

Wykazane wcześniej uwagi w żadnym stopniu nie osłabiają pozytywnego odbioru pracy. W podsumowaniu wniosku wyrażam opinię, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane stosownymi przepisami pracom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Tomasza Krukowicza do publicznej obrony pracy doktorskiej w dyscyplinie „Transport”.



dr hab. inż. Andrzej Szarata, prof. PK
Katedra Systemów Transportowych
Instytut Inżynierii Drogowej, Kolejowej i Transportu
Politechnika Krakowska

Kraków, dnia 3 kwietnia 2018 r.

Recenzja
pracy doktorskiej
mgr inż. Tomasza KRUKOWICZA

p.t.: „Metoda tworzenia algorytmów sterowania adaptacyjnego
dla skrzyżowań odosobnionych”

(Promotor: dr hab. inż. Piotr Kawalec, prof. PW)

Podstawą opracowania recenzji jest pismo prof. dr hab. inż. Krzysztofa Zboińskiego, Prodziekana ds. Nauki na Wydziale Transportu, Politechniki Warszawskiej, z dnia 5 lutego 2018 r.

Recenzowana praca doktorska związana jest z problematyką projektowania programów sygnalizacji świetlnej. W związku ze stale pogarszającymi się warunkami ruchu ulicznego, wybrany temat jest aktualny i ważny nie tylko z inżynierskiego punktu widzenia. Autor wybrał obszar sterowania skrzyżowaniami odosobnionymi, poprzedzając swoje analizy szczegółowym przeglądem prac innych autorów oraz obowiązujących aktów prawnych. W efekcie zaproponował własne algorytmy sterowania ruchem z uwzględnieniem przejść międzyfazowych i wyznaczenia warunków czasowych funkcjonowania algorytmu. Praca ma bardzo wysokie walory praktyczne, i z pewnością znajdzie szerokie zastosowanie praktyczne w projektowaniu skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Bardzo dobrze wypełnia braki w literaturze polskiej w tym zakresie.

Rozprawa jest obszerna, liczy 184 strony i została podzielona na 9 rozdziałów właściwych. Dodatkowo zestawiono bibliografię oraz rysunki i tabele.

1. Ocena poszczególnych części rozprawy

Wprowadzenie (**rozdział 1**) rozpoczyna się od wyjaśnienia genezy pracy. Jest to bardzo dobrze zredagowany rozdział odwołujący się do celów pracy i uzasadniający podjęcie tematu rozprawy. W rozdziale tym Autor dogłębnie nakreśla problem badawczy jednocześnie definiując znaczenie podjętego zagadnienia w kontekście oczekiwań uczestników ruchu drogowego. Nakreślony problem badawczy przedstawia z punktu widzenia doświadczonego projektanta sygnalizacji świetlnej, wskazując na słabe strony dotychczasowych podejść. Można jednak odnieść wrażenie, że przedstawiony zakres badań ma charakter bardziej praktyczny niż naukowy.

W **rozdziale 2** Doktorant przedstawia szczegółowy i szeroki przegląd literatury odnosząc się do norm prawnych, ale i publikacji naukowych z przedmiotowego zakresu. Daje tym samym dowód, że w oparciu o znajomość bardzo wielu źródeł literaturowych, swobodnie porusza się w problematyce projektowania sygnalizacji świetlnej. Razi nieco nadmiar dość częstych odwołań do podstawowych definicji (np. s. 13 czy s. 40), przez co czytelnik może miejscami odnieść wrażenie korzystania z podręcznika dla początkujących. W przeglądzie przykładów różnych podejść, Doktorant dobrze wydobyl ich istotę, wskazując na różnorodność ujęć i stosowanych metod projektowania. Pojawia się pytanie, dlaczego w przeglądzie literatury, Autor odniósł się prawie wyłącznie do źródeł krajowych? W całym spisie literatury znajduje się kilkanaście pozycji zagranicznych, z czego większość to instrukcje. Pojawia się pytanie, jak wygląda kwestia projektowania sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu odosobnionym w innych krajach? Czy inni autorzy dostrzegli podobny problem?

W **rozdziale 3**, Doktorant definiuje cel i tezy pracy wskazując na jeden główny, nie wskazując celów cząstkowych, które również są bardzo wartościowe z praktycznego punktu widzenia, a których rozwiązania zostały opisane w kolejnych punktach pracy (punkty 4-8). Merytorycznie cel pracy jest dobrze nakreślony, jednakże zdefiniowanie go jako uwzględniającego specyfikę warunków polskich, wydaje się niewłaściwe. Przedstawione specyficzne warunki dla Polski uwzględniają w rzeczywistości warunki wynikające z zapisów prawnych, a w takim ujęciu Autor powinien uzasadnić, z czego one wynikają oraz jak wyglądają na tle doświadczeń zagranicznych. Przy braku tego porównania, wydaje się trudnym stwierdzenie, na czym polega owa polska specyfika. Cel pracy sugeruje również, że Autor powinien się zajmować zachowaniami kierujących, które mogą być specyficzne w różnych krajach i dlatego uwzględniane są różne rozwiązania prawne w zakresie projektowania sygnalizacji świetlnej (np. wyższe prędkości na dojazdach, mniejsza chęć ustępowania pierwszeństwa, wymuszania pierwszeństwa, agresywność poruszania się itd.). Wyjaśnienia wymaga pojęcie efektywności – w tezie dysertacji pojawia się pojęcie rozwiązania efektywnego, a w świetle dość szczegółowych definicji zagadnień podstawowych we wcześniejszej części rozprawy, przy formułowaniu tezy zabrakło tej najważniejszej. Niemniej jednak zakres tematyczny postawionej tezy, pomimo jej mocno praktycznego charakteru, należy uznać za właściwy i świadczący o dobrym rozpoznaniu podejmowanej przez Autora problematyki.

W **rozdziale 4**, stanowiącym istotny element rozprawy, przedstawiona jest autorska procedura projektowania sterowania adaptacyjnego. Jako jeden z najważniejszych rozdziałów, powinien być silniej podkreślony, zwłaszcza jego zakończenie, które powinno stanowić podbudowę do dalszych rozważań, tymczasem on się rozmywa (wyraźnie daje się odczuć brak podsumowania wskazującego na dalsze postępowanie) - w rozdziale tym powinny się znaleźć założenia do budowy algorytmu. Wydzwięk tego rozdziału jest zbyt praktyczny, a początek jest oczywisty i bez szkody dla całej dysertacji można by go było pominąć. Wartościowy jest rozdział 4.3., a przedstawiony w nim opis może być traktowany jako wzorcowy dla dalszej części pracy (odniesienie do przepustowości nie jest konieczne).

Jest to bardzo dobry rozdział, niosący duży ładunek merytoryczny i z całą pewnością stanowi duży wkład Autora w proces projektowania sygnalizacji świetlnej. Jednakże w rozdziale tym zabrakło podsumowania, pozwalającego na wyciągnięcie wniosków z poruszanych kwestii i wskazaniu dalszych działań.

Rozdział 5 dysertacji dotyczy etapów przygotowawczych metod projektowania algorytmów sterowania ruchem. W oparciu o bazowy program sygnalizacji świetlnej, przedstawiono zasady jego możliwego zastosowania do budowy pełnego algorytmu sterowania ruchem. W trakcie analiz wskazano na zasadność zmiany składu faz ruchu wpływających na większą elastyczność pracy algorytmu sterowania. Doktorant zdefiniował również kryteria tworzenia nowych faz ruchu i przekształcania schematu faz na graf sterowania. Opracowany graf stanowi podstawę (w dalszej części pracy) do projektowania przejść międzyfazowych oraz określania warunków czasowych. Przyjętą procedurę oceniam bardzo wysoko, ponieważ prowadzi do wypracowania złożonych algorytmów. Prezentowane podejście jest bardzo rozbudowane, a Autor przybliżył koncepcję budowy modelu na czytelnych schematach. Szczegółowy opis prowadzonych prac projektowych świadczy o bardzo wysokich kompetencjach Autora i dużym doświadczeniu w projektowaniu sygnalizacji świetlnej. Pomimo złożoności zagadnienia, Autor w sposób bardzo dobry prowadzi linię wyjaśnienia istoty modeli i poprzez uporządkowanie przedstawiania procedur tworzy spójną całość.

Rozdział 6 dotyczy kwestii projektowania przejść międzyfazowych. Autor definiuje wymagania procesu ich projektowania bazując na dostępnych materiałach źródłowych (głównie autorskich). Zasady zostały przedstawione w formie wektora przejścia międzyfazowego, macierzy rzeczywistych czasów międzyzielonych i wektorów końców i początków sygnałów zezwalających, uwzględniając zagadnienia obsługi sygnałów dopuszczających skręcanie w kierunku wskazanym strzałką. Doktorant sformułował kryteria optymalizacji oraz ograniczenia dotyczące przedstawionych metod. Interesujący jest fragment o różnych funkcjach celu dla minimalizacji czasu trwania przejść międzyfazowych, ale wydaje się, że powinien być on poparty analizą wpływu na funkcjonowanie skrzyżowania. W tym miejscu należy po raz kolejny podkreślić wysokie kompetencje Autora i jego umiejętność syntetycznego przedstawiania bardzo złożonych problemów w czytelnej formie. Przedstawiony przez Autora przegląd metod projektowania i wieloaspektowe / wielowątkowe podejście do problematyki jest na najwyższym poziomie. W rozdziale można dostrzec bardzo duże zaangażowanie Doktoranta w proces projektowania sygnalizacji świetlnej i liczne odwołania do Jego praktycznych doświadczeń. Natomiast zabrakło nieco odwołań do

rzeczywistych sytuacji – pokazania efektywności działania na konkretnym skrzyżowaniu, co miałyby walor poznawczy i jednocześnie utylitarny (wprawdzie Autor pokazuje procedurę na przykładzie, lecz jest to wirtualne skrzyżowanie).

Rozdział 7 obejmuje zagadnienia wyznaczania warunków czasowych w algorytmach sterowania ruchem. Doktorant scharakteryzował rolę warunków czasowych oraz dokonał ich klasyfikacji. Jednakże najważniejszą częścią rozdziału jest autorska procedura bazująca na przekształcaniu grafów, tworzeniu sieci oraz analizie dróg w opracowanych sieciach (proponowana metoda upraszcza dotychczasowe podejścia projektowania). Autor opracował własny program wspomagający proces projektowania, a wyniki jego aplikacji zestawiał tabelarycznie. Nie znaleziono informacji, czy opracowane narzędzie działa równie dobrze na innych przykładach – czy Autor przeprowadził testy narzędzia dla innych programów sygnalizacji? Czy były prowadzone analizy wrażliwości? Czy rozwiązanie przedstawione w tablicy 7.2 jest optymalne?

Rozdział 8 zawiera zasady tworzenia algorytmów sterowania sygnalizacją świetlną. Autor zastosował tutaj metodę grafów z wierzchołkami hierarchicznymi. Przedstawione podejście stanowi autorską metodę bazującą na sieci sekwencji faz. Opracowana metoda upraszczania struktury wewnętrznej faz ruchu jest jednak zbyt skrótowo opisana i dla czytelnika nie jest jasne, jak można ją zastosować. Wydaje się jednak, że wartościowym byłoby rozwinięcie tej części i jej szersze omówienie. Przedstawiona metoda projektowania, ma liczne zalety i pozwala m.in. na szybsze obliczenia oraz wyraźnie mniejszą liczbę błędów. Podobnie jak we wcześniejszym rozdziale, Autor przedstawił weryfikację metody, jednak opis tej weryfikacji jest dość lakoniczny i można by się spodziewać bardziej aplikacyjnego zwieńczenia prowadzonych prac.

Rozdział 9 zawiera wnioski i podsumowanie prowadzonych analiz. Jest to bardzo dobrze napisany rozdział, wskazujący na osiągnięte wyniki i potwierdzający spełnienie założonej tezy. W pełni zgadzam się z wymienionymi w rozdziale najważniejszymi efektami rozprawy. Pewien niedosyt pozostawiają nakreślone kierunki dalszych badań – wydaje się, że dalsze prace powinny iść raczej w kierunku bardziej naukowym niż praktycznym: np. w stronę opracowania metod oceny przyjętych rozwiązań.

Bibliografia w liczbie 178 pozycji jest dość obszerna, została starannie dobrana i zestawiona, jednak w zdecydowanej większości są to pozycje krajowe. Wydaje się, że zabrakło pozycji zagranicznych pokazujących szerszy kontekst prowadzonych analiz. Może warto się zastanowić, czy aby opracowane algorytmy sterowania lub inne podejścia do prezentowanego zagadnienia nie występują w literaturze światowej.

Zebrane źródła są różnorodne: głównie są to referaty i artykuły, lecz także pozycje monograficzne, ustawy, instrukcje i źródła internetowe. Część literatury stanowią źródła niepublikowane (prace magisterskie, materiały dydaktyczne), co powoduje trudności w ich wykorzystaniu dla czytelnika i ewentualnej interpretacji. W sumie jest to przydatny zbiór dla każdego projektanta zajmującego się projektowaniem sygnalizacji świetlnej.

Wśród tych 178 pozycji jest 36 publikacji Doktoranta (w tym 5 samodzielnych). Wszystkie publikacje są publikacjami krajowymi.

2. Uwagi szczegółowe:

1. Stosowanie przypisów z podstawowymi definicjami nie jest potrzebne, skoro można zastosować odniesienia do literatury.
2. Praca fragmentami brzmi jak instrukcja czy wytyczne projektowania; znajdują się w niej części, które można skrócić bez istotnego wpływu na zawartość pracy. Miejscami jest ona zbyt oczywista dla osób znających zagadnienie.
3. S.32 – Opis dotyczący bezpieczeństwa ruchu powinien być odniesiony nie do ogólnej liczby wypadków, a do wypadków na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną. Dopiero wówczas jest to miarodajne i zasadne dla potrzeb niniejszej rozprawy.
4. Autor powinien powoływać się na nowszą literaturę np. pozycja 158 w odniesieniu do przedstawionego problemu jest już od dawna nieaktualna – nie powinno się bazować na publikacjach z 1991 roku bez stosownego komentarza. Uwaga ta dotyczy również instrukcji HCM2000.
5. S. 33 – Autor odnosi się do specyfiki krajowej, przecząc jednocześnie tej tezie przez powołanie się na wymagania BRD, które wszędzie powinny zapobiegać powstawaniu zdarzeń drogowych
6. S.43 – opis stosowanych zmiennych powinien pojawić się na początku pracy.
7. W rozdziale 4 pojawiają się liczne odwołania do źródeł z początku lat 90tych w tym do wskazywanego już HCM 2000.
8. S. 65 – Autor odwołuje się do rozdziału 5.3 – wydaje się, że to pomyłka i powinno być odwołanie do rozdziału 2.3, gdzie było zawarte oszacowanie liczby przejść międzyfazowych. Jeżeli jednak nie ma pomyłki (w punkcie 5.3 występuje również takie oszacowanie), to odnoszenie się do późniejszego tekstu jest niepoprawne.
9. S. 71 – w pierwszym akapicie użyte sformułowania brzmią jak instrukcja, a nie rozprawa naukowa.
10. S. 88 – wątek przedstawiony w rozdziale 6.1.3 był już kilkakrotnie poruszany
11. S. 95 – wątpliwym jest zapis o istnieniu wielu rozwiązań optymalnych, (jeżeli jest ich wiele, to nie mogą być jednocześnie optymalne).
12. Pytanie ogólne – czy zasadne jest stosowanie pojęcia podfazy w rozwiniętych algorytmach sterowania?

3. Ocena redakcji pracy

Układ całości pracy jest logiczny, czytelny i cechuje się wysoką gęstością merytoryczną, a wywód prowadzony jest konsekwentnie. Jediną uwagę można mieć do częstych powtórzeń nakreślonych problemów i wyjaśnień bardzo prostych i podstawowych pojęć z zakresu inżynierii ruchu.

Uporządkowanie treści w obrębie rozdziałów i podrozdziałów jest trafne, poza nielicznymi mniej znaczącymi wyjątkami. Kilkakrotnie dostrzeżono, iż opis metod jest zbyt

skrótowy jak na oczekiwania ich pełnego przedstawienia, lecz wobec znacznej obszerności dysertacji, w zasadzie nie stanowi to istotnego uchybienia.

Praca jest bardzo dobrze zredagowana – nie dostrzeżono tzw. literówek ani innych błędów edycyjnych (poza nielicznymi wyjątkami). Świadczy to o bardzo dużym nakładzie pracy Doktoranta. Język rozprawy jest miejscami - ze względu na używanie rozbudowanej i specjalistycznej terminologii – hermetyczny i trudny w odbiorze.

4. Ogólna ocena pracy

Na podkreślenie zasługuje sam fakt podjęcia bardzo trudnej i bardzo wąskiej problematyki oraz rozległość i precyzja wykorzystywanych wielu źródeł, z którymi Doktorant nie tylko wnikliwie zapoznał się, ale wykazał że rozumie ich istotę i trafnie je syntetyzuje. Doktorant rozwiązał problem praktyczny posługując się pogłębionym opisem formalnym wykazując się ogromną wiedzą i doświadczeniem w stosowaniu narzędzi optymalizacyjnych.

Podjęty problem jest bardzo ważny z inżynierskiego punktu widzenia, jednak można odnieść wrażenie, że warstwa naukowa nie była wystarczająco podkreślona. Rozwiązując go Doktorant wykazał doświadczenie wynikające ze sprawnego posługiwania się zastosowaną metodą oraz posiadał w wysokim stopniu znajomość procesów projektowania sygnalizacji świetlnej.

Recenzowana praca doktorska pomimo zgłoszonych uwag, głównie o charakterze wątpliwości bądź usterek (zapewne znaczna część z nich jest dyskusyjna), jest ambitnie zamierzoną dysertacją o charakterze utylitarnym. Uwagi szczegółowe mają głównie charakter redakcyjny, mogą być wykorzystane w poprawie jakości, w tym czytelności zamierzonych publikacji obejmujących poszczególne fragmenty dysertacji.

5. Wniosek końcowy i jego uzasadnienie

Uzasadnieniem pozytywnej oceny pracy są następujące jej walory:

- Główną zaletą pracy jest usystematyzowanie i sformalizowanie zapisów w zakresie projektowania skrzyżowań z sygnalizacją świetlną w Polsce.
- Za osiągnięcie pracy należy przede wszystkim uznać opracowanie nowej metody tworzenia algorytmów sterowania adaptacyjnego, która ułatwia tworzenie algorytmów, poprzez stosowanie makrobloków.
- Zaproponowane zasady projektowania algorytmów formalizują proces ich tworzenia, pozwalają na skrócenie czasu tworzenia algorytmów oraz zmniejszają liczbę pomyłek
- Bardzo dobrze opisany całościowo problem z uwzględnieniem wielu kryteriów projektowania skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, dotychczas nieusystematyzowanych w literaturze krajowej.
- Opisanie zagadnienia wyznaczania warunków czasowych dla algorytmu sterowania ruchem. W toku analizy wyróżniono ponad 20 zasad określania warunków czasowych.
- Kompleksowe podejście do problemu przejść międzyfazowych, Sformalizowany zapis przejść międzyfazowych z uwzględnieniem wielu kryteriów.
- Analiza przepisów oraz wymagań zarządzających ruchem w zakresie bezpieczeństwa ruchu oraz efektywności sterowania, które pozwoliły na sformułowanie wymagań

formalnych dla adaptacyjnego sterowania ruchem. W obydwu grupach wyróżniono i sformalizowano wiele wymagań, które dotychczas nie były opisywane w literaturze.

- Doskonała orientacja w krajowym stanie badań i umiejętność ich syntetycznego przedstawienia.
- Wkład w rozwój metody projektowania sygnalizacji świetlnej.
- Zaprezentowane przez jej Autora bardzo wysokie kompetencje merytoryczne.
- Doprowadzenie do efektywnego rozwiązania postawionego zadania.

Wykazane wcześniej uwagi w żadnym stopniu nie osłabiają pozytywnego odbioru pracy. W podsumowaniu wniosku wyrażam opinię, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane stosownymi przepisami pracom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Tomasza Krukowicza do publicznej obrony pracy doktorskiej w dyscyplinie „Transport”.



dr hab. inż. Andrzej Szarata, prof. PK
Katedra Systemów Transportowych
Instytut Inżynierii Drogowej, Kolejowej i Transportu
Politechnika Krakowska

Kraków, dnia 3 kwietnia 2018 r.

Recenzja
pracy doktorskiej
mgr inż. Tomasza KRUKOWICZA

**p.t.: „Metoda tworzenia algorytmów sterowania adaptacyjnego
dla skrzyżowań odosobnionych”**

(Promotor: dr hab. inż. Piotr Kawalec, prof. PW)

Podstawą opracowania recenzji jest pismo prof. dr hab. inż. Krzysztofa Zboińskiego, Prodziekana ds. Nauki na Wydziale Transportu, Politechniki Warszawskiej, z dnia 5 lutego 2018 r.

Recenzowana praca doktorska związana jest z problematyką projektowania programów sygnalizacji świetlnej. W związku ze stale pogarszającymi się warunkami ruchu ulicznego, wybrany temat jest aktualny i ważny nie tylko z inżynierskiego punktu widzenia. Autor wybrał obszar sterowania skrzyżowaniami odosobnionymi, poprzedzając swoje analizy szczegółowym przeglądem prac innych autorów oraz obowiązujących aktów prawnych. W efekcie zaproponował własne algorytmy sterowania ruchem z uwzględnieniem przejść międzyfazowych i wyznaczenia warunków czasowych funkcjonowania algorytmu. Praca ma bardzo wysokie walory praktyczne, i z pewnością znajdzie szerokie zastosowanie praktyczne w projektowaniu skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Bardzo dobrze wypełnia braki w literaturze polskiej w tym zakresie.

Rozprawa jest obszerna, liczy 184 strony i została podzielona na 9 rozdziałów właściwych. Dodatkowo zestawiono bibliografię oraz rysunki i tabele.

1. Ocena poszczególnych części rozprawy

Wprowadzenie (rozdział 1) rozpoczyna się od wyjaśnienia genezy pracy. Jest to bardzo dobrze zredagowany rozdział odwołujący się do celów pracy i uzasadniający podjęcie tematu rozprawy. W rozdziale tym Autor dogłębnie nakreśla problem badawczy jednocześnie definiując znaczenie podjętego zagadnienia w kontekście oczekiwań uczestników ruchu drogowego. Nakreślony problem badawczy przedstawia z punktu widzenia doświadczonego projektanta sygnalizacji świetlnej, wskazując na słabe strony dotychczasowych podejść. Można jednak odnieść wrażenie, że przedstawiony zakres badań ma charakter bardziej praktyczny niż naukowy.

W rozdziale 2 Doktorant przedstawia szczegółowy i szeroki przegląd literatury odnosząc się do norm prawnych, ale i publikacji naukowych z przedmiotowego zakresu. Daje tym samym dowód, że w oparciu o znajomość bardzo wielu źródeł literaturowych, swobodnie porusza się w problematyce projektowania sygnalizacji świetlnych. Razi nieco nadmiar dość częstych odwołań do podstawowych definicji (np. s. 13 czy s. 40), przez co czytelnik może miejscami odnieść wrażenie korzystania z podręcznika dla początkujących. W przeglądzie przykładów różnych podejść, Doktorant dobrze wydobyl ich istotę, wskazując na różnorodność ujęć i stosowanych metod projektowania. Pojawia się pytanie, dlaczego w przeglądzie literatury, Autor odniósł się prawie wyłącznie do źródeł krajowych? W całym spisie literatury znajduje się kilkanaście pozycji zagranicznych, z czego większość to instrukcje. Pojawia się pytanie, jak wygląda kwestia projektowania sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu odosobnionym w innych krajach? Czy inni autorzy dostrzegli podobny problem?

W rozdziale 3, Doktorant definiuje cel i tezy pracy wskazując na jeden główny, nie wskazując celów cząstkowych, które również są bardzo wartościowe z praktycznego punktu widzenia, a których rozwiązania zostały opisane w kolejnych punktach pracy (punkty 4-8). Merytorycznie cel pracy jest dobrze nakreślony, jednakże zdefiniowanie go jako uwzględniającego specyfikę warunków polskich, wydaje się niewłaściwe. Przedstawione specyficzne warunki dla Polski uwzględniają w rzeczywistości warunki wynikające z zapisów prawnych, a w takim ujęciu Autor powinien uzasadnić, z czego one wynikają oraz jak wyglądają na tle doświadczeń zagranicznych. Przy braku tego porównania, wydaje się trudnym stwierdzenie, na czym polega owa polska specyfika. Cel pracy sugeruje również, że Autor powinien się zajmować zachowaniami kierujących, które mogą być specyficzne w różnych krajach i dlatego uwzględniane są różne rozwiązania prawne w zakresie projektowania sygnalizacji świetlnej (np. wyższe prędkości na dojazdach, mniejsza chęć ustępowania pierwszeństwa, wymuszania pierwszeństwa, agresywność poruszania się itd.). Wyjaśnienia wymaga pojęcie efektywności – w tezie dysertacji pojawia się pojęcie rozwiązania efektywnego, a w świetle dość szczegółowych definicji zagadnień podstawowych we wcześniejszej części rozprawy, przy formułowaniu tezy zabrakło tej najważniejszej. Niemniej jednak zakres tematyczny postawionej tezy, pomimo jej mocno praktycznego charakteru, należy uznać za właściwy i świadczący o dobrym rozpoznaniu podejmowanej przez Autora problematyki.

W **rozdziale 4**, stanowiącym istotny element rozprawy, przedstawiona jest autorska procedura projektowania sterowania adaptacyjnego. Jako jeden z najważniejszych rozdziałów, powinien być silniej podkreślony, zwłaszcza jego zakończenie, które powinno stanowić podbudowę do dalszych rozważań, tymczasem on się rozmywa (wyraźnie daje się odczuć brak podsumowania wskazującego na dalsze postępowanie) - w rozdziale tym powinny się znaleźć założenia do budowy algorytmu. Wydzwięk tego rozdziału jest zbyt praktyczny, a początek jest oczywisty i bez szkody dla całej dysertacji można by go było pominąć. Wartościowy jest rozdział 4.3., a przedstawiony w nim opis może być traktowany jako wzorcowy dla dalszej części pracy (odniesienie do przepustowości nie jest konieczne).

Jest to bardzo dobry rozdział, niosący duży ładunek merytoryczny i z całą pewnością stanowi duży wkład Autora w proces projektowania sygnalizacji świetlnej. Jednakże w rozdziale tym zabrakło podsumowania, pozwalającego na wyciągnięcie wniosków z poruszanych kwestii i wskazaniu dalszych działań.

Rozdział 5 dysertacji dotyczy etapów przygotowawczych metod projektowania algorytmów sterowania ruchem. W oparciu o bazowy program sygnalizacji świetlnej, przedstawiono zasady jego możliwego zastosowania do budowy pełnego algorytmu sterowania ruchem. W trakcie analiz wskazano na zasadność zmiany składu faz ruchu wpływających na większą elastyczność pracy algorytmu sterowania. Doktorant zdefiniował również kryteria tworzenia nowych faz ruchu i przekształcania schematu faz na graf sterowania. Opracowany graf stanowi podstawę (w dalszej części pracy) do projektowania przejść międzyfazowych oraz określania warunków czasowych. Przyjętą procedurę oceniam bardzo wysoko, ponieważ prowadzi do wypracowania złożonych algorytmów. Prezentowane podejście jest bardzo rozbudowane, a Autor przybliżył koncepcję budowy modelu na czytelnych schematach. Szczegółowy opis prowadzonych prac projektowych świadczy o bardzo wysokich kompetencjach Autora i dużym doświadczeniu w projektowaniu sygnalizacji świetlnej. Pomimo złożoności zagadnienia, Autor w sposób bardzo dobry prowadzi linię wyjaśnienia istoty modeli i poprzez uporządkowanie przedstawiania procedur tworzy spójną całość.

Rozdział 6 dotyczy kwestii projektowania przejść międzyfazowych. Autor definiuje wymagania procesu ich projektowania bazując na dostępnych materiałach źródłowych (głównie autorskich). Zasady zostały przedstawione w formie wektora przejścia międzyfazowego, macierzy rzeczywistych czasów międzyzielonych i wektorów końców i początków sygnałów zezwalających, uwzględniając zagadnienia obsługi sygnałów dopuszczających skręcanie w kierunku wskazanym strzałką. Doktorant sformułował kryteria optymalizacji oraz ograniczenia dotyczące przedstawionych metod. Interesujący jest fragment o różnych funkcjach celu dla minimalizacji czasu trwania przejść międzyfazowych, ale wydaje się, że powinien być on poparty analizą wpływu na funkcjonowanie skrzyżowania. W tym miejscu należy po raz kolejny podkreślić wysokie kompetencje Autora i jego umiejętność syntetycznego przedstawiania bardzo złożonych problemów w czytelnej formie. Przedstawiony przez Autora przegląd metod projektowania i wieloaspektowe / wielowątkowe podejście do problematyki jest na najwyższym poziomie. W rozdziale można dostrzec bardzo duże zaangażowanie Doktoranta w proces projektowania sygnalizacji świetlnej i liczne odwołania do Jego praktycznych doświadczeń. Natomiast zabrakło nieco odwołań do

rzeczywistych sytuacji – pokazania efektywności działania na konkretnym skrzyżowaniu, co miałyby walor poznawczy i jednocześnie utylitarny (wprawdzie Autor pokazuje procedurę na przykładzie, lecz jest to wirtualne skrzyżowanie).

Rozdział 7 obejmuje zagadnienia wyznaczania warunków czasowych w algorytmach sterowania ruchem. Doktorant scharakteryzował rolę warunków czasowych oraz dokonał ich klasyfikacji. Jednakże najważniejszą częścią rozdziału jest autorska procedura bazująca na przekształcaniu grafów, tworzeniu sieci oraz analizie dróg w opracowanych sieciach (proponowana metoda upraszcza dotychczasowe podejścia projektowania). Autor opracował własny program wspomagający proces projektowania, a wyniki jego aplikacji zestawiał tabelarycznie. Nie znaleziono informacji, czy opracowane narzędzie działa równie dobrze na innych przykładach – czy Autor przeprowadził testy narzędzia dla innych programów sygnalizacji? Czy były prowadzone analizy wrażliwości? Czy rozwiązanie przedstawione w tablicy 7.2 jest optymalne?

Rozdział 8 zawiera zasady tworzenia algorytmów sterowania sygnalizacją świetlną. Autor zastosował tutaj metodę grafów z wierzchołkami hierarchicznymi. Przedstawione podejście stanowi autorską metodę bazującą na sieci sekwencji faz. Opracowana metoda upraszczania struktury wewnętrznej faz ruchu jest jednak zbyt skrótowo opisana i dla czytelnika nie jest jasne, jak można ją zastosować. Wydaje się jednak, że wartościowym byłoby rozwinięcie tej części i jej szersze omówienie. Przedstawiona metoda projektowania, ma liczne zalety i pozwala m.in. na szybsze obliczenia oraz wyraźnie mniejszą liczbę błędów. Podobnie jak we wcześniejszym rozdziale, Autor przedstawił weryfikację metody, jednak opis tej weryfikacji jest dość lakoniczny i można by się spodziewać bardziej aplikacyjnego zwięźczenia prowadzonych prac.

Rozdział 9 zawiera wnioski i podsumowanie prowadzonych analiz. Jest to bardzo dobrze napisany rozdział, wskazujący na osiągnięte wyniki i potwierdzający spełnienie założonej tezy. W pełni zgadzam się z wymienionymi w rozdziale najważniejszymi efektami rozprawy. Pewien niedosyt pozostawiają nakreślone kierunki dalszych badań – wydaje się, że dalsze prace powinny iść raczej w kierunku bardziej naukowym niż praktycznym: np. w stronę opracowania metod oceny przyjętych rozwiązań.

Bibliografia w liczbie 178 pozycji jest dość obszerna, została starannie dobrana i zestawiona, jednak w zdecydowanej większości są to pozycje krajowe. Wydaje się, że zabrakło pozycji zagranicznych pokazujących szerszy kontekst prowadzonych analiz. Może warto się zastanowić, czy aby opracowane algorytmy sterowania lub inne podejścia do prezentowanego zagadnienia nie występują w literaturze światowej.

Zebrane źródła są różnorodne: głównie są to referaty i artykuły, lecz także pozycje monograficzne, ustawy, instrukcje i źródła internetowe. Część literatury stanowią źródła niepublikowane (prace magisterskie, materiały dydaktyczne), co powoduje trudności w ich wykorzystaniu dla czytelnika i ewentualnej interpretacji. W sumie jest to przydatny zbiór dla każdego projektanta zajmującego się projektowaniem sygnalizacji świetlnej.

Wśród tych 178 pozycji jest 36 publikacji Doktoranta (w tym 5 samodzielnych). Wszystkie publikacje są publikacjami krajowymi.

2. Uwagi szczegółowe:

1. Stosowanie przypisów z podstawowymi definicjami nie jest potrzebne, skoro można zastosować odniesienia do literatury.
2. Praca fragmentami brzmi jak instrukcja czy wytyczne projektowania; znajdują się w niej części, które można skrócić bez istotnego wpływu na zawartość pracy. Miejscami jest ona zbyt oczywista dla osób znających zagadnienie.
3. S.32 – Opis dotyczący bezpieczeństwa ruchu powinien być odniesiony nie do ogólnej liczby wypadków, a do wypadków na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną. Dopiero wówczas jest to miarodajne i zasadne dla potrzeb niniejszej rozprawy.
4. Autor powinien powoływać się na nowszą literaturę np. pozycja 158 w odniesieniu do przedstawionego problemu jest już od dawna nieaktualna – nie powinno się bazować na publikacjach z 1991 roku bez stosownego komentarza. Uwaga ta dotyczy również instrukcji HCM2000.
5. S. 33 – Autor odnosi się do specyfiki krajowej, przecząc jednocześnie tej tezie przez powołanie się na wymagania BRD, które wszędzie powinny zapobiegać powstawaniu zdarzeń drogowych
6. S.43 – opis stosowanych zmiennych powinien pojawić się na początku pracy.
7. W rozdziale 4 pojawiają się liczne odwołania do źródeł z początku lat 90tych w tym do wskazywanego już HCM 2000.
8. S. 65 – Autor odwołuje się do rozdziału 5.3 – wydaje się, że to pomyłka i powinno być odwołanie do rozdziału 2.3, gdzie było zawarte oszacowanie liczby przejść międzyfazowych. Jeżeli jednak nie ma pomyłki (w punkcie 5.3 występuje również takie oszacowanie), to odnoszenie się do późniejszego tekstu jest niepoprawne.
9. S. 71 – w pierwszym akapicie użyte sformułowania brzmią jak instrukcja, a nie rozprawa naukowa.
10. S. 88 – wątek przedstawiony w rozdziale 6.1.3 był już kilkakrotnie poruszany
11. S. 95 – wątpliwym jest zapis o istnieniu wielu rozwiązań optymalnych, (jeżeli jest ich wiele, to nie mogą być jednocześnie optymalne).
12. Pytanie ogólne – czy zasadne jest stosowanie pojęcia podfazy w rozwiniętych algorytmach sterowania?

3. Ocena redakcji pracy

Układ całości pracy jest logiczny, czytelny i cechuje się wysoką gęstością merytoryczną, a wywód prowadzony jest konsekwentnie. Jediną uwagę można mieć do częstych powtórzeń nakreślonych problemów i wyjaśnień bardzo prostych i podstawowych pojęć z zakresu inżynierii ruchu.

Uporządkowanie treści w obrębie rozdziałów i podrozdziałów jest trafne, poza nielicznymi mniej znaczącymi wyjątkami. Kilkakrotnie dostrzeżono, iż opis metod jest zbyt

skrótowy jak na oczekiwania ich pełnego przedstawienia, lecz wobec znacznej obszerności dysertacji, w zasadzie nie stanowi to istotnego uchybienia.

Praca jest bardzo dobrze zredagowana – nie dostrzeżono tzw. literówek ani innych błędów edycyjnych (poza nielicznymi wyjątkami). Świadczy to o bardzo dużym nakładzie pracy Doktoranta. Język rozprawy jest miejscami - ze względu na używanie rozbudowanej i specjalistycznej terminologii – hermetyczny i trudny w odbiorze.

4. Ogólna ocena pracy

Na podkreślenie zasługuje sam fakt podjęcia bardzo trudnej i bardzo wąskiej problematyki oraz rozległość i precyzja wykorzystywanych wielu źródeł, z którymi Doktorant nie tylko wnikliwie zapoznał się, ale wykazał że rozumie ich istotę i trafnie je syntetyzuje. Doktorant rozwiązał problem praktyczny posługując się pogłębionym opisem formalnym wykazując się ogromną wiedzą i doświadczeniem w stosowaniu narzędzi optymalizacyjnych.

Podjęty problem jest bardzo ważny z inżynierskiego punktu widzenia, jednak można odnieść wrażenie, że warstwa naukowa nie była wystarczająco podkreślona. Rozwiązując go Doktorant wykazał doświadczenie wynikające ze sprawnego posługiwania się zastosowaną metodą oraz posiadał w wysokim stopniu znajomość procesów projektowania sygnalizacji świetlnej.

Recenzowana praca doktorska pomimo zgłoszonych uwag, głównie o charakterze wątpliwości bądź usterek (zapewne znaczna część z nich jest dyskusyjna), jest ambitnie zamierzoną dysertacją o charakterze użytecznym. Uwagi szczegółowe mają głównie charakter redakcyjny, mogą być wykorzystane w poprawie jakości, w tym czytelności zamierzonych publikacji obejmujących poszczególne fragmenty dysertacji.

5. Wniosek końcowy i jego uzasadnienie

Uzasadnieniem pozytywnej oceny pracy są następujące jej walory:

- Główną zaletą pracy jest usystematyzowanie i sformalizowanie zapisów w zakresie projektowania skrzyżowań z sygnalizacją świetlną w Polsce.
- Za osiągnięcie pracy należy przede wszystkim uznać opracowanie nowej metody tworzenia algorytmów sterowania adaptacyjnego, która ułatwia tworzenie algorytmów, poprzez stosowanie makrobloków.
- Zaproponowane zasady projektowania algorytmów formalizują proces ich tworzenia, pozwalają na skrócenie czasu tworzenia algorytmów oraz zmniejszają liczbę pomyłek
- Bardzo dobrze opisany całościowo problem z uwzględnieniem wielu kryteriów projektowania skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, dotychczas nieusystematyzowanych w literaturze krajowej.
- Opisanie zagadnienia wyznaczania warunków czasowych dla algorytmu sterowania ruchem. W toku analizy wyróżniono ponad 20 zasad określania warunków czasowych.
- Kompleksowe podejście do problemu przejść międzyfazowych, Sformalizowany zapis przejść międzyfazowych z uwzględnieniem wielu kryteriów.
- Analiza przepisów oraz wymagań zarządzających ruchem w zakresie bezpieczeństwa ruchu oraz efektywności sterowania, które pozwoliły na sformułowanie wymagań

formalnych dla adaptacyjnego sterowania ruchem. W obydwu grupach wyróżniono i sformalizowano wiele wymagań, które dotychczas nie były opisywane w literaturze.

- Doskonała orientacja w krajowym stanie badań i umiejętność ich syntetycznego przedstawienia.
- Wkład w rozwój metody projektowania sygnalizacji świetlnej.
- Zaprezentowane przez jej Autora bardzo wysokie kompetencje merytoryczne.
- Doprowadzenie do efektywnego rozwiązania postawionego zadania.

Wykazane wcześniej uwagi w żadnym stopniu nie osłabiają pozytywnego odbioru pracy. W podsumowaniu wniosku wyrażam opinię, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane stosownymi przepisami pracom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Tomasza Krukowicza do publicznej obrony pracy doktorskiej w dyscyplinie „Transport”.

