

Warszawa, 21.06.2022 r.

dr hab. inż. Agnieszka Wolska, prof. Instytutu
Sekretarz Naukowy Instytutu
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa



Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Jaskowskiego pt. „Metoda pomiaru stanu infrastruktury oświetleniowej w ruchu drogowym”

Promotor : dr hab. inż. Piotr Tomczuk, prof. uczelni

Informacja ogólna

Podstawą przygotowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Jaskowskiego jest uchwała nr 384/2022 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 12.04.2022 r. oraz pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport dr hab. inż. Konrada Lewczuka, profesora uczelni, z dnia 21.04.2022 r.

Tematyka pracy

Oświetlenie uliczne jako jeden z elementów infrastruktury transportowej wpływa przede wszystkim na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego. Szczególne znaczenie dla ograniczenia liczby i skutków wypadków drogowych w porze nocnej ma prawidłowe oświetlenie uliczne, które może przyczynić się do zmniejszenia liczby wypadków, nawet o 40%, wg doniesień literaturowych. Wskazuje to na konieczność okresowych kontroli stanu oświetlenia ulicznego. Aktualnie pomiary natężenia oświetlenia ulicznego wykonywane są z wykorzystaniem czasochłonnej metody klasycznej, polegającej na wykonaniu pomiarów na wybranym odcinku drogi w wyznaczonych zgodnie z normą punktach pomiarowych na powierzchni jezdni, i najlepiej przy wyłączeniu ruchu drogowego na czas pomiaru. Pomiary te są kosztowne i „kłopotliwe” dla zleceniodawcy (wyłączenie ruchu drogowego), co powoduje, że bardzo rzadko są wykonywane, a tym samym nie ma prowadzonej kontroli istniejącej instalacji oświetleniowej. Z tego względu podjęcie przez Doktoranta próby opracowania metody dynamicznego pomiaru natężenia oświetlenia ulicznego polegającej na rejestracji natężenia oświetlenia w trakcie jazdy pojazdem podczas ruchu drogowego jest ważnym i aktualnym zagadnieniem.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia uważam, że wybór tematu rozprawy jest aktualny i istotny dla zachowania bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Treść pracy, cel i tezy

Przedstawiona do recenzji praca jest zgodna, co do formy, z wymogami stawianymi rozprawie doktorskiej. Praca przygotowana jest w formie wydruku opracowanego za pomocą komputerowego edytora tekstu. Rysunki i tabele są wstawione w odpowiednich miejscach tekstu w formie cyfrowej. Całkowita objętość tekstu rozprawy wynosi 182 strony w tym 24 strony objętości stanowi treść trzech załączników. Praca składa się z 7 rozdziałów, w których znajduje się 95 rysunków i 36 tabel. Wykaz literatury liczy 111 pozycji, w tym: 89 - w języku angielskim i 23 w języku polskim. Ponadto praca zawiera: Wykaz ważniejszych pojęć używanych w pracy, Spis rysunków i Spis tabel.

Praca napisana jest poprawnym językiem, a układ pracy jest przejrzysty. Podział treści rozprawy na rozdziały i podrozdziały jest poprawny. Zawartość rozdziałów odpowiada tematowi rozprawy. Wykaz literatury zawiera aktualne publikacje z zakresu merytorycznego pracy opublikowanych w ostatnich pięciu latach.

Celem pracy było opracowanie metody pomiaru stanu infrastruktury oświetleniowej w ruchu drogowym.

Doktorant sformułował dwie tezy:

1. W badaniach stanu oświetlenia infrastruktury drogowej oprócz metody wskazanej w normie można stosować inną metodę, polegającą na rejestracji wartości natężenia oświetlenia w trakcie jazdy pojazdem podczas ruchu drogowego.
2. Możliwe jest określenie klas oświetlenia drogowego dzięki pomiarom wartości natężenia oświetlenia rejestrowanych podczas jazdy pojazdem w ruchu drogowym.

Najważniejsze wyniki uzyskane w pracy

Doktorant podjął się opracowania metody dynamicznego pomiaru natężenia oświetlenia, która pozwala na szybsze i równie dokładne co metodą klasyczną wykonanie pomiarów oświetlenia ulicznego. Natężenie oświetlenia rejestrowane jest podczas jazdy pojazdem w ruchu drogowym. W metodzie tej wykorzystał opracowany przez siebie autorski system pomiarowy, który zapewnił pomiar natężenia oświetlenia w czasie ruchu pojazdu. Ważną cechą zastosowanych głowic fotometrycznych była częstotliwość pomiaru wynosząca 5Hz, co umożliwiało wykonywanie pomiaru w ruchu, choć przy ograniczonej do 54 km/h prędkości poruszania się pojazdu. Istotnym, dla dokładności wyznaczania współrzędnych punktów pomiaru na drodze, było zastosowanie modułu GPS z możliwością wprowadzenia poprawek RTK. W celu ograniczenia czasu wykonywania pomiaru oraz zachowania stałej odległości między liniami pomiarowymi zastosował trzy głowice fotometryczne do pomiaru natężenia oświetlenia, które usytuował na dachu samochodu w odległościach odpowiadających odległości między liniami pomiarowymi. Oznacza to, że zamiast wykonywać trzy przejazdy w jednym pasie ruchu i każdy przejazd przy innej odległości od krawędzi pasa, wykonał tylko jeden przejazd. Ponadto przyczyniło się to do zwiększenia dokładności wyznaczania punktów pomiarowych w każdym rzędzie pomiarowym. Dodatkową zaletą opracowanej metody jest możliwość zwiększenia liczby punktów pomiarowych (większa liczba punktów pomiarowych niż minimalna liczba punktów określonych wg normy, stosowanych w metodzie klasycznej). Oznacza to większą dokładność wyznaczonych z pomiarów: wartości średniej natężenia oświetlenia i jego równomierności. Zastosowanie w opracowanym

systemie pomiarowym czwartej głowicy fotometrycznej usytuowanej w płaszczyźnie pionowej na wysokości płaszczyzny pomiaru uważam za bardzo ważne ze względu na monitorowanie potencjalnego udziału światła obcego i jego wpływie na wartości mierzone.

Na podkreślenie zasługuje deklaracja Doktoranta, że planuje w przyszłości dalsze modyfikacje systemu tak, aby mógł być stosowany na drogach szybkiego ruchu, przy maksymalnej prędkości pojazdu wynoszącej 80 km/h, przy większej liczbie pasów ruchu i na odcinkach drogi o złożonej geometrii (np. łuki drogi).

Przeprowadzone przez Doktoranta badania poligonowe natężenia oświetlenia metodą klasyczną i dynamiczną oraz ich analiza, przeprowadzenie symulacji oświetlenia, porównanie wyników pomiarów z wynikami symulacji komputerowej oraz weryfikacja wyników symulacyjnych są poprawne merytorycznie. Uzyskane niskie wartości odchylenia standardowego pomiędzy średnią wartością natężenia oświetlenia uzyskaną metodą analityczną a wynikami symulacji, wynosiły odpowiednio: dla wysokości płaszczyzny pomiaru 1.5 m – 0,25 lx oraz na wysokości płaszczyzny jezdni – 0,34 lx, wskazują, m.in., na prawidłowe przeprowadzenie weryfikacji wyników symulacyjnych.

Prawidłowość działania opracowanego systemu pomiarowego Doktorant wykazał z zastosowaniem metody *Measurement System Analysis* (MSA) wraz z testem *Repeatability and Reproducibility* (R&R) opisanymi w literaturze anglojęzycznej. Wyznaczona wartość statystyki testu - %R&R dla opracowanej metody wynosi 11,14%, co zgodnie z przyjętymi w tej metodzie kryteriami (dla %R&R od 10% do 30%) oznacza, że system może być zaakceptowany warunkowo, choć nieznacznie przekracza wartość progową 10%. Doktorant odwołuje się do wyników badań innego mobilnego systemu pomiarowego oświetlenia ulicznego (dane z 2018 r.), dla którego wyznaczona statystyka %R&R wynosiła 26,6%. Zatem, pomimo przynależności do tego samego kryterium wyników obu systemów pomiarowych, opracowany przez Doktoranta system wykazał większą prawidłowość działania. Uwzględniając ograniczone środki finansowe Doktoranta na budowę systemu, w porównaniu z systemem opisanym w literaturze, uzyskanie takiego wyniku można uznać za duże osiągnięcie Doktoranta.

Istotnym wynikiem uzyskanym w pracy jest opracowana metoda aproksymacji natężenia oświetlenia ulicznego w funkcji drogi, w której odwzorowanie wykonano przy użyciu środowiska obliczeniowego MatLab i modułu Curve Fitting. W ten sposób odwzorowano wyniki symulacyjne oraz wyniki pomiarów metodą klasyczną na wysokości jezdni i 1,5 m nad jezdnią dla wszystkich 6 linii pomiarowych. Pozwoliło to na wyznaczenie różnic natężenia oświetlenia na wysokości 1,5 m nad jezdnią i na jezdni w poszczególnych punktach wzdłuż drogi. Na tej podstawie obliczono macierz współczynników korygujących, które umożliwiają przeliczenie wyników pomiarów natężenia oświetlenia z rzeczywistej siatki pomiarowej na wysokości 1,5 m, do siatki pomiarowej na wysokości jezdni, o równomiernym kroku siatki.

Doktorant dowiódł, że możliwe jest określenie klas oświetlenia drogowego dzięki pomiarom wartości natężenia oświetlenia rejestrowanych podczas jazdy pojazdem w ruchu drogowym. Tym samym potwierdził, że do tego celu może służyć opracowana przez niego metoda pomiaru oraz system pomiarowy.

Uwagi dotyczące strony merytorycznej rozprawy

- W treści pracy brakuje informacji o klasie oraz błędach dopasowania widmowego i przestrzennego głowic fotometrycznych OPT 3001 zastosowanych w opracowanym

systemie pomiarowym. Dane te są niezbędne do porównania z danymi luksomierza Sonel LXP10A, którym wykonano pomiary metodą klasyczną i stwierdzenia, czy istniejące różnice mogły wpłynąć na wyniki przeprowadzonych analiz porównawczych.

- Niestety Doktorant nie opisał w pracy, czy i w jaki sposób uwzględnił wskazania głowicy fotometrycznej mierzącej poziom natężenia w płaszczyźnie pionowej. Głowica ta ma za zadanie monitorowanie potencjalnego udziału światła obcego na wartości natężenia oświetlenia mierzone przez głowice fotometryczne umieszczone w płaszczyźnie poziomej na dachu samochodu.
- W opisie metody aproksymacji natężenia oświetlenia nie napisano jaką zastosowano funkcję aproksymacji w Curve Fitting oraz do czego była potrzebna transformata Fouriera.
- Na str. 82 występuje stwierdzenie o pomiarowym wyznaczeniu krzywej światłości dla projektora samochodowego oraz sygnalizatora świetlnego oraz o przeliczaniu wyników pomiaru rozsyłu światłości do płaszczyzny C_T . Niestety Doktorant nie zamieścił tych krzywych w pracy, ani nie wyjaśnił o jaki liczbowo kąt γ płaszczyzny C_T chodziło.
- Na str. 27 wzory 1.4 i 1.5 są identyczne, choć odnoszą się do wyznaczania punktów pomiarowych w różnych kierunkach (wzdłużnym i poprzecznym). Zgodnie z rys. 1.4 oraz opisem symboli pod wzorem 1.5, wzór ten powinien mieć inny zapis niż wzór 1.4.
- Zapis warunków na wyznaczenie wartości D we wzorze 1.4 jest niejednoznaczny. W dwóch warunkach występuje wartość $S=30$. Zatem, który warunek należałoby przyjąć dla tego przypadku?
- W wykazie symboli do wzoru 3.1 (str. 42) opisującego prawo odwrotności kwadratu odległości napisano, że I_α jest to wartość strumienia świetlnego oprawy w lm, podczas gdy jest to wartość światłości oprawy w kierunku danego punktu, wyrażona w candelach (cd). Jednocześnie zwracam uwagę na stosowaną przez Doktoranta nazwę ww. prawa jako „prawo odwrotnych kwadratów”, która różni się od powszechnie przyjętej w obszarze techniki świetlnej nazwy: prawo odwrotności kwadratu odległości (zgodnie z pozycją bibliograficzną w pracy nr 98).
- Doktorant porównując wartości średniego natężenia oświetlenia i określając ich % różnice (np. w odniesieniu do kąta nachylenia oprawy, str. 77) nie odnosi się do psychofizycznego Prawa Webera. Prawo to określa progi różnic bodźca (w tym wzrokowego), które są miarą czułości człowieka na bodźce. Najmniejsza uchwytana różnica określonego bodźca nie jest stała i jest związana z wielkością bodźca. Uwzględnienie tego prawa byłoby wskazane przy określaniu czy dana % różnica średniego natężenia oświetlenia jest istotna ze względu na postrzeganie bodźców świetlnych przez człowieka. Taka analiza pokazuje, czy różnica 1 lx jest zauważalną przez człowieka zmianą w danych warunkach oświetleniowych. Tylko zauważalne przez człowieka zmiany mogą wpłynąć na pogorszenie lub polepszenie warunków postrzegania. Czy taki sam liczbowo próg bodźca (określony w lx) będzie przy poziomie natężenia oświetlenia 100 lx i 5 lx? Jakie kryterium przyjęto do określania istotności wpływu wybranego parametru na natężenie oświetlenia, (np. przykładowo w stwierdzeniu na str. 78)?
- Z analizy wyników zastosowania ośmiu opraw o różnej bryle światłości przy trzech systemach oświetlenia ulicznego (tabele 5.11÷5.13), wynika, że najlepszą ze względu na utrzymanie tej samej klasy oświetlenia jest oprawa nr 5, o bardzo szerokim rozsyle światłości. Czy wyniki analizy efektywności energetycznej wskazują, że jej zastosowanie byłoby energooszczędne co dałoby podstawy do zalecenia jej stosowania w rozpatrywanym przypadku?

- W Podsumowaniu (str. 143) Doktorant napisał, że „.....otrzymany wynik wyniósł $D_p = 0,021$ ($W \cdot l \cdot x^{-1} \cdot m^{-2}$) i była to wartość zaniżona w stosunku do wartości uzyskanej dla sumy wskaźnika D_p , otrzymanego dla poszczególnych pól $D_p=0,645$ ($W \cdot l \cdot x^{-1} \cdot m^{-2}$)”. Proszę o wyjaśnienie tego stwierdzenia i określenia co to oznacza w praktyce.

Uwagi dotyczące strony redakcyjnej

Praca napisana jest dość starannie pod względem redakcyjnym, choć nie udało się uniknąć Autorowi pewnych błędów stylistycznych, błędów lub pominięć w opisach rysunków, niezręcznych sformułowań, literówek oraz błędów w opisie bibliograficznym.

1. Główne zastrzeżenia odnośnie powołań w tekście do bibliografii i zapisów w bibliograficznych to:

- Opis publikacji znajdującej się w rozdziale literatury na pozycji 71, jest niemożliwy do jej prawidłowego zidentyfikowania w kontekście tematyki rozprawy. W opisie bibliograficznym wskazana jest dyrektywa 2011/83/WE, która dotyczy praw konsumenta. Natomiast jeśli jest to forma wydawnictwa zwartej o tytule „Fundamental texts on European private law” to na podanych stronach: 88-110 znajduje się opis rozporządzenia UE 1259/2010 dotyczącego rozwodów i legalnej separacji.
- Brak spójności w powoływaniu się na normy. Doktorant zastosował następujące formy odwołań: poprzez zamieszczenie w tekście nr normy, ale bez wskazania pozycji bibliograficznej (np. na str. 14), poprzez zamieszczenie tylko nr pozycji bibliograficznej (np. na str. 45), ale bez podania zarówno nr normy jak i pozycji bibliograficznej (np. na str. 26).
- Braki w opisach bibliograficznych:
 - ✓ danych wydawniczych, pozycje literatury nr: 3, 9, 11, 12, 37, 38, 44, 51, 53, 64, 66, 98, 101;
 - ✓ numeru volumenu czasopisma, pozycje literatury nr: 1, 76, 93, 103;
 - ✓ numeru volumenu czasopisma i numerów stron artykułu: 18, 45, 68, 69;
 - ✓ numerów stron artykułu: 8, 21, 27, 41, 43, 46, 59, 83, 88.

2. Główne zastrzeżenia do opisów rysunków:

- Na rys. 2.1 kolorem czerwonym oznaczono krzywą „ogółem”. Jeśli odnosi się ona do liczby zabitych i rannych ogółem, to powinna osiągać większe wartości niż liczba zabitych. W pracy brak komentarza do tych wykresów.
- W podpisach rysunków 3.14 – 3.24 (str. 66-70) występuje zapis „widok...w fałszywych kolorach”, który nie został wyjaśniony w treści pracy.
- Na rys. 5.1 (str. 106) oraz na rys. 5.2 i 5.3 (na str. 108) nie opisano co oznaczają liczby na osi pionowej, co utrudnia czytelnikowi zrozumienie informacji zawartych na tych rysunkach. Ponadto nie opisano co oznaczają liczby na osi poziomej. Można domyślić się, że są to nr linii pomiarowych, ale wtedy powinny być tam liczby:1,2,3,4,5,6,

zamiast liczb 10, 20, 30, 40, 50, 60. Ponadto na rys. 5.3 (kierunek B) na osiach poziomych powinny być liczby 4, 5, 6 zamiast 10, 20, 30.

- Na rys. 5.2 skala odwzorowująca liczbę punktów pomiarowych powinna być taka sama dla A2 i A3 (tzn. 26 punktów), natomiast na rys. 5.3 analogicznie dla B2 i B5 (33 punkty).
- Na rys. 5.6 dwukrotnie występuje opis wysokości pomiaru 0,5 m (ale są różne przebiegi rozkładu natężenia oświetlenia).
- Na rysunkach 3.9 ÷ 3.11 oraz na rysunkach 5.9 ÷ 5.12 nie opisano, którym numerem linii pomiarowych odpowiadają krzywe na rysunkach wyróżnione w różnych kolorach
- Podpis rysunków 5.14 ÷ 5.16 (lub treść w tekście) powinna wyjaśniać co prezentują rysunki.

3. Główne zastrzeżenia odnośnie niezręcznych sformułowań lub skrótów myślowych:

- Na str. 20 termin „prowadzenie optyczne kierowcy” powinien być zastąpiony terminem „prowadzenie wzrokowe kierowcy”.
- Na str. 21 podtytuł „Pomiary parametrów luminancji” powinien być zastąpiony na „Pomiary luminancji”, gdyż zawartość rozdziału dotyczy bezpośredniego pomiaru luminancji, a nie jej parametrów.
- W technice świetlnej stosuje się nazwę „głowica fotometryczna” a nie „czujnik pomiarowy” do pomiaru natężenia oświetlenia.
- Na str. 41 sformułowanie „...poprzez wymianę opraw na źródła światła wykorzystujące typ LED” powinno być zastąpione np. na „poprzez wymianę opraw z klasycznymi źródłami światła na oprawy ze źródłami ledowymi”.
- Na str. 92 sformułowanie „przyciski funkcjonalne” powinno być zastąpione na „przyciski funkcyjne”.
- Na str. 128 sformułowanie „charakteryzuje się szerokim rozsyłem płaszczyzny wzdłużnej ” powinno być zastąpione na „charakteryzuje się szerokim rozsyłem krzywej światłości w płaszczyźnie wzdłużnej”.
- Na stronie 146 występuje skrót myślowy: „ szybki sensor pomiarowy”.

4. Wykaz wybranych „literówek” znalezionych w tekście:

- Na str. 14 występuje sformułowanie „...do pomiaru **luminacji**” zamiast „luminancji”,
- Na str. 83 występuje sformułowanie „ ..może się różnić w zakresie wysokość ich zawieszenia”.
- Na str. 116 występuje sformułowanie „...moduł **Cruve** Fitting..” zamiast „moduł Curve Fitting”.
- W pozycjach bibliograficznych nr: 24 (discharge Ia.), 89 (warsaw), 97 (using fuzzy theory in % GR&am:R and...)” zamiast „ %GR&R and...”), 98 („światlne” zamiast „światlnej”), 99 (Przegląd).

5. Wykaz wybranych symboli występujących w tekście, do których brak objaśnienia w treści:

- symbol Q_0 w tabeli 3.5 (str. 58)
- symbol n_{LU} we wzorze 3.2 na str.43
- znaki: *, **, ***, **** przy symbolach parametrów - w tabeli 3.2 na str. 56.
- symbole: **PDI** i **AECI** na str. 62.

Podsumowanie i konkluzja

Przedstawioną do recenzji pracę oceniam pozytywnie, została ona wykonana na dobrym poziomie merytorycznym. Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne nie wpływają w sposób istotny na wartość merytoryczną pracy.

Opracowany system pomiarowy można uznać za nowatorski i ważny z punktu widzenia jego potencjalnej aplikacyjności. Zastosowanie opracowanej metody do wykonywania pomiarów oświetlenia ulicznego powinno zwiększyć liczbę i częstość wykonywanych pomiarów oświetlenia ulicznego, a w rezultacie przyczynić się do działań na rzecz poprawy oświetlenia na dokładnie określonych odcinkach dróg, gdzie niespełnione są zarówno wymagania normatywne dotyczące oświetlenia, ale również dotyczące efektywności energetycznej. Jednak szerokie zastosowanie tego systemu i metody pomiaru wymagałoby w przyszłości określenia metody wyznaczania niepewności pomiaru. Ciekawym byłoby np. zastosowanie do tego celu metody Monte Carlo.

Może w swych przyszłościowych planach badawczych Doktorant rozważyłby opracowanie np. dynamicznej metody pomiaru oświetlenia od oświetlenia ulicznego, co uzupełniałoby ocenę instalacji oświetleniowej o kolejny parametr istotny dla bezpieczeństwa użytkownika drogi, jakim jest ocena oświetlenia.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. „Metoda pomiaru stanu infrastruktury oświetleniowej w ruchu drogowym” mgr inż. Piotra Jaskowskiego spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim zawarte w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z 14 marca 2003 r. (DzU nr 65 poz. 595 z późn. zm.). Uważam, że Autor wniósł samodzielny wkład do dyscypliny naukowej Inżynieria Lądowa i Transport / dziedzina nauk – Nauki Inżynieryjno-techniczne .

W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony.

