

prof. dr hab. inż. Andrzej Szarata  
Katedra Systemów Transportowych  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Politechnika Krakowska

Kraków, dnia 30 czerwca 2021 r.

*Recenzja*  
**pracy doktorskiej**  
**mgr inż. Macieja Hałuchy**

p.t.: „**Wpływ wybranych czynników i danych wejściowych na modelowanie hałasu drogowego**”

(Promotor: dr hab. inż. Janusz Bohatkiewicz, prof. ucz.)

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport na Politechnice Lubelskiej, prof. dr hab. inż. Wojciecha Franusa, z dnia 5 maja 2021 r.

Recenzowana praca liczy 202 strony i została podzielona na 10 rozdziałów. W załączniku znajduje się streszczenie pracy w języku polskim i angielskim.

### **1. Ocena poszczególnych części rozprawy**

Wstęp (**rozdział 1**) rozpoczyna się od ogólnej charakterystyki wpływu oddziaływania akustycznego na człowieka i podkreślenia jego negatywnego wpływu na zdrowie. W rozdziale nakreślono ogólne tło poruszanej problematyki oraz szeroki kontekst prowadzonych badań. Ponadto syntetycznie scharakteryzowano zawartość merytoryczną całej dysertacji.

**Rozdział 2** zawiera opis problemu naukowego oraz zdefiniowany cel rozprawy. Trochę zaskakujące jest wykorzystanie pojęć: „czynnik” i „dana wejściowa”, ponieważ może być to rozumiane jako tożsame pojęcia. Dopiero na stronie 58 pojawia się wyjaśnienie sposobu ich interpretacji przez Doktoranta (w tym kontekście zarówno tytuł pracy jak i zdefiniowany cel jest opisany prawidłowo).

**Rozdział 3** zawiera przyjęte tezy - pokazują one kierunek badań i analiz. Pomimo faktu, iż nie jest to obowiązkowy element rozprawy doktorskiej, Doktorant wskazał główne elementy, które będzie chciał w ramach swojej pracy poddać szczegółowej analizie.



W zasadzie tezy są sformułowane prawidłowo, jednakże można odnieść wrażenie, że teza pierwsza ma dość oczywisty wydzźwięk. W powszechnym rozumieniu problematyki hałasu komunikacyjnego, natężenie ruchu ma ścisły związek z poziomem hałasu od niego pochodzącym. Nie należy jednak traktować tej uwagi jako uchybienia, a raczej jako element do dyskusji podczas obrony.

**Rozdział 4** składa się z przeglądu metod modelowania hałasu drogowego. Doktorant przedstawił pełną analizę metod w ujęciu historycznym wskazując na postęp w prowadzonych analizach i rozwój tych metod. Na podkreślenie zasługuje bardzo mocno rozbudowany przegląd metod obliczeniowych hałasu stosowanych w warunkach krajowych. Chciałbym podkreślić kompletność przedstawianych podejść wyjaśniającą nie tylko ujęcie historyczne, ale i bieżące metody wraz z szeroko komentowanymi i wyjaśnionymi algorytmami obliczeniowymi. Stanowi to kompendium wiedzy z zakresu metod obliczeniowych hałasu drogowego. Jednocześnie jest mocnym filarem całej dysertacji, dając czytelnikowi solidne podstawy do prowadzonego przez Doktoranta toku myślowego realizowanego w dalszej części pracy. Przedstawiane metody są kompletnie i właściwie opisane, dobrze scharakteryzowane oraz opatrzone komentarzem autorskim. Za wartościowe uważam również porównanie tych metod i bardzo rozbudowany opis wniosków płynących z tego porównania. Pokazuje to, jak Doktorant ma dobrze opanowany warsztat praktyczny i jak swobodnie porusza się w omawianej tematyce.

Podrozdział 4.3 przedstawia czynniki wykorzystywane w procesie modelowania hałasu drogowego – jest to kompletny zestaw zmiennych wpływających na wartość obliczeniową hałasu. Jest to kolejny element bardzo dobrze zestawiony i wyjaśniony pokazując swobodę Autora w poruszanej tematyce. Jednak dopiero kolejny podrozdział pozwala Doktorantowi na udowodnienie swojej ogromnej wiedzy i zebranego doświadczenia w analizach środowiskowych. Jest to niewątpliwie bardzo mocna strona dysertacji, obszernie wyjaśniona, skomentowana i uzupełniona autorskimi uwagami wynikającymi z własnych doświadczeń.

W przypadku podrozdziału 4.6 na uwagę zasługuje charakterystyka modelowania podróży prowadząca do określenia parametrów ruchu drogowego. Uproszczono nieco strukturę modeli ruchu (można wyróżnić znacznie więcej grup), ale w kontekście praktycznym nie ma to większego znaczenia. Pojawia się kilka niezręcznych sformułowań (np. *Autorzy modelu krajowego uzależnili wybór drogi od czasu i przepustowości*, podczas gdy jest to fundamentalne założenie modelu czterostadiowego), ale nie mają one wpływu na odbiór całości. Wartościową częścią rozdziału jest przedstawienie zagadnienia niedokładności prognoz ruchu – ma to ogromne znaczenie w dalszej części dysertacji i jest jedną z niewielu tego typu analiz w Polsce. Na stronie 47 w tabeli 4.5 przedstawiono w zasadzie dowód na prawdziwość tezy 1 (Doktorant wyraźnie potwierdził związek między natężeniem ruchu, a poziomem hałasu), co ponownie prowadzi do pytania o celowość postawienia takiej tezy. Należy zwrócić uwagę na uwzględnienie w analizach pojazdów elektrycznych oraz odwzorowania nawierzchni redukujących hałas. Dopełnia to obraz problematyki i po raz kolejny utwierdza czytelnika w przekonaniu, że Autor zajął się zagadnieniem w sposób holistyczny.



**Rozdział 5** dotyczy zagadnienia wyboru zmiennych do prowadzonych badań. W tym miejscu Doktorant jednoznacznie zdefiniował stosowane pojęcie danych wejściowych i czynników, prezentując na czytelnym schemacie istniejące współzależności. Jest to syntetyczne zestawienie i wydaje się, że ten rozdział mógłby swobodnie stanowić podrozdział 4.11.

W **rozdziale 6** Autor podejmuje temat metod badawczych rozpoczynając od prognozowania parametrów ruchu drogowego. Schemat 6.1 bardzo dobrze oddaje strukturę prowadzonych analiz i porządkuje tok rozumowania. Całość jest uzupełniona czytelnymi schematami i obszernymi wyjaśnieniami zawierającymi algorytmy postępowania i kompletne wzory obliczeniowe. Ważnym elementem prowadzonych analiz jest uwzględnienie pojazdów elektrycznych i hybrydowych w potoku ruchu oraz kompletny algorytm prowadzenia badań współczynnika skuteczności akustycznej nawierzchni redukujących hałas. Istotnym elementem prowadzonych analiz jest identyfikacja modeli obliczeniowych, zwłaszcza modelu geometrycznego, który został wykorzystany do badań. Dokładnie przedstawiono założenia i warunki brzegowe stosowane w dalszych pracach analitycznych.

**Rozdział 7** jest kluczowy w kontekście prowadzonych prac badawczych i zawiera wyniki badań. Doktorant rozpoczął od analizy wpływu prognozowania parametrów ruchu drogowego na wyniki i dokładność modelowania hałasu drogowego. Prezentację wyników Autor rozpoczął od porównania prognozowanych i rzeczywistych wartości natężenia ruchu i stosując aparat statystyczny wykazał i skwantyfikował rozbieżności między nimi. Chciałbym podkreślić wagę tej części pracy, ponieważ prowadzone analizy dotyczyły ponad 130 odcinków jednorodnych i zdaniem Recenzenta stanowi to bardzo wartościowy element pracy (nie było do tej pory podobnej analizy przeprowadzonej w warunkach krajowych). Jest to bardzo mocny zbiór danych, a uzyskane wyniki mogą być traktowane jako reprezentatywne. Na stronie 81 Doktorant zestawił metody prognozowania, jakie zostały zastosowane w poszczególnych analizach i pewien niedosyt pozostawia brak oceny która z metod daje lepsze wyniki (wydaje się, że nie byłoby trudnym uzupełnienie rozdziału o tę informację). Ponadto przyjęty podział metod nie koresponduje ze zdefiniowanymi na stronie 39 grupami modeli ruchu, co wprowadza małe zamieszanie. W części dotyczącej porównania prędkości różnych grup pojazdów należy pamiętać, że bardzo często w procesie prognozowania ruchu obliczane są wartości SDR, które następnie są rozdzielane na poszczególne udziały grup pojazdów. W takim przypadku szczegółowa analiza tych grup jest zbędna. Wydaje się zasadnym weryfikacja wpływu wyboru procedury modelowania na uzyskane wyniki. **Jak Doktorant zapatruje się na ten wątek?** Bardzo wartościowym elementem jest określenie wpływu prognoz ruchu na proces modelowania hałasu drogowego. Doktorant wybrał cztery metody (NMPB, RLS-90, CNOSSOS-EU oraz PK) i dla nich przeprowadził porównanie wyników dla danych porealizacyjnych i prognozowanych. Jest to kluczowy element dysertacji i stanowi bardzo mocny argument w dyskusji na temat jakości danych ruchowych. Jest to pionierska analiza przeprowadzona na dużej grupie inwestycji, pokazująca wrażliwość analizowanych metod na zmiany w wartościach natężenia ruchu. Doktorant zdefiniował przedziały, dla których te analizy są ważne, lecz pojawia się wątpliwość dotycząca dolnych granic – np. dla pory nocnej dolną granicą jest 10 p/h – jest to



raczej wartość pomijalnie mała. W tym kontekście ważny (zdaniem Recenzenta) jest wątek gorszych wyników porównawczych dla odcinków o małym natężeniu ruchu w porównaniu do tych

z dużymi wartościami. Wydaje się, że w przypadku małego natężenia ruchu, np. rzędu 20 p/h wzrost natężenia o 100% daje 40 p/h, ale z punktu widzenia poziomu hałasu, zmiana jest niewielka w porównaniu do 100% wzrostu ruchu na odcinku o natężeniu 2 100 p/h i odpowiadającym mu wzrostowi poziomu hałasu drogowego. Podobny komentarz dotyczy tabeli 7.12, gdzie dolną granicą jest 1 p/d! **(oczekiwany komentarz Autora)**. Kompleksowość badań podkreśla kolejny czynnik – długość horyzontu prognostycznego. Doktorant wykazał, że w przypadku najkrótszych horyzontów (mniejszych niż 2 lata) wyniki analiz porealizacyjnych pokazują wartości wyższe od tych uzyskanych w raportach oddziaływania na środowisko. Dla okresu 5 letniego wykonywania badań porealizacyjnych zaobserwowano przeszacowanie wyników modelowania hałasu drogowego na etapie raportu. W prowadzonych analizach nie zaobserwowano jednoznacznego trendu miar rozproszenia wyników modelowania hałasu. Interesującym wątkiem jest określenie wpływu klasy technicznej drogi na niedokładności modelowania zjawiska. Doktorant zaobserwował niedoszacowanie wyników modelowania hałasu na drogach niższych klas, a przeszacowanie w klasach wyższych – **prośba do Doktoranta o skomentowanie tego faktu i wyjaśnienie przyczyn i konsekwencji zaobserwowanych tendencji**.

Należy zwrócić uwagę na bardzo obszernie wyjaśniony problem wpływu pojazdów elektrycznych na wyniki modelowania, co z pewnością będzie niezbędnym elementem przyszłych badań i konieczności uwzględnienia tych pojazdów w procedurach projektowych. Bardzo pozytywnie oceniam ten element rozprawy i chciałbym podkreślić kompleksowość i szczegółowość podejścia uwzględniający nawet prognozy udziału tych pojazdów w ruchu. W części dotyczącej walidacji Doktorant zauważył, iż liczba punktów pomiarowych hałasu nie przekłada się na poprawę jakości prowadzonych analiz. Jest to kolejny wniosek o charakterze utylitarnym i podkreślający wagę prowadzonych analiz dla przyszłych projektów. W rozdziale Autor bardzo dokładnie i czytelnie przedstawił również problematykę walidacji modeli obliczeniowych, określił wpływ nawierzchni na wyniki obliczeń oraz zdefiniował wpływ algorytmu obliczeniowego na poziom hałasu drogowego. Analizując łączny wpływ wybranych czynników i danych wejściowych, poza prognozami ruchu uwzględniono nawierzchnie redukujące hałas (w pracy uwzględniono nawet zmniejszający się z biegiem czasu efekt redukcji), niepewność wyników pomiaru równoważnego poziomu dźwięku oraz sam model obliczeniowy. Dzięki zastosowaniu aparatu statystycznego, Doktorant uzyskał wiarygodne wyniki i wykazał słabe i mocne strony każdego podejścia. Na uwagę zasługuje graficzna prezentacja niedokładności w modelowaniu hałasu na etapie przed- i porealizacyjnym. Wniosek kluczowy wskazuje, że wyniki analiz porealizacyjnych są istotnie większe w porównaniu do modelowania na etapie przedrealizacyjnym, co ma ogromne znaczenie w kontekście oceny stanu klimatu akustycznego w otoczeniu drogi i proponowanych rozwiązań zabezpieczających. Wniosek płynący z tych analiz prowadzi do konstatacji konieczności zabezpieczania akustycznego jedynie w miejscach, w których występują ewidentne przekroczenia wartości dopuszczalnych, a w przypadkach wątpliwych sugerowane jest wstrzymanie się od podejmowania decyzji i przeniesienie jej na etap



porealizacyjny (ze wszystkimi konsekwencjami). Jest to kolejne, niewątpliwie duże osiągnięcie o charakterze użytkowym poparte drobiazgowymi analizami badawczymi, potwierdzające bardzo dobry warsztat naukowca i ogromną wiedzę podpartą wielkim doświadczeniem praktycznym Doktoranta.

**Rozdział 8** zawiera podsumowanie i wnioski płynące z prowadzonych analiz. W rozdziale tym Doktorant przedstawił w sposób syntetyczny swoje osiągnięcia oraz wykazał które z nich zostały potwierdzone, a które nie. Bardzo dobrze zostały przedstawione wnioski szczegółowe – jest to kompletne zestawienie 24 najważniejszych osiągnięć przygotowane w sposób czytelny zarówno dla naukowca jak i praktyka.

W **rozdziale 9** sformułowano kierunki dalszych badań. Jest to dobrze nakreślony i kompletny obszar do eksploracji naukowej, pokazujący dużą wiedzę Doktoranta jako badacza zjawiska hałasu drogowego i świadomość złożoności podjętej problematyki.

**Bibliografia** w liczbie 277 pozycji została starannie dobrana i zestawiona, jest w pełni reprezentatywna dla podejmowanej problematyki, stanowiąc wartość samą w sobie. Zebrane źródła są różnorodne: głównie są to referaty i artykuły, lecz także pozycje monograficzne, leksykony i ustawy. W sumie jest to bardzo przydatny zbiór dla każdego badacza zajmującego się modelowaniem hałasu drogowego.

Wśród tych 277 pozycji jest 16 publikacji Doktoranta, w tym 6 w których jest pierwszym autorem, a wśród współautorskich - 11 z Promotorem. Ponad 80% wszystkich źródeł to publikacje angielskojęzyczne. Częste i liczne cytowania dowodzą, że Doktorant zapoznał się z zestawionymi źródłami i z pożytkiem je wykorzystał.

## 2. Uwagi szczegółowe:

Po raz kolejny chciałbym podkreślić, iż praca jest wykonana bardzo starannie, a uwagi i wątpliwości zostały umieszczone w ocenie merytorycznej poszczególnych rozdziałów. Narzuca się jedynie kilka mniej istotnych uwag szczegółowych:

1. Doktorant pozyskał bardzo rozbudowane dane do prowadzonych obliczeń (raporty, pomiary realizowane w ramach rzeczywistych projektów itp.), ale opis tego zbioru jest bardzo lakoniczny. Szkoda, że nie poświęcono temu zagadnieniu więcej miejsca, bo sam w sobie stanowi bardzo wartościowy element.
2. Doktorant bez przerwy używa określenia „powyższa tabela” lub „powyższy wykres” – wydaje się to niewłaściwym określeniem w pracy technicznej. Znacznie lepiej jest odwoływać się do konkretnych numerów tabel, wykresów czy schematów.
3. S. 35 – słowo „etap” pojawia się 8 razy
4. Zabrakło dyskusji na temat jakości modelowania prędkości pojazdów (np. poprzez ocenę funkcji oporu odcinka i związku między natężeniem, a prędkością potoku pojazdów).



5. Wydaje się, że rozdział 4.9 ma niewłaściwy tytuł – to nie jest modelowanie nawierzchni redukujących hałas drogowy, a charakterystyka tych nawierzchni i sposób ich parametryzowania w wybranych procedurach.

### **3. Ocena redakcji pracy**

Układ całości pracy jest logiczny, czytelny i cechuje się wysoką gęstością merytoryczną, a wywód prowadzony jest konsekwentnie. Uporządkowanie treści w obrębie rozdziałów i podrozdziałów jest trafne, poza nielicznymi mniej znaczącymi wyjątkami. Kilukrotnie 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. Z drugiej strony pojawiają się bardzo szczegółowe wyjaśnienia spraw dość oczywistych, ale nie jest to dominujące w rozprawie.

Praca jest bardzo dobrze zredagowana i dopracowana stylistycznie. Z uwagi na złożoność prowadzonych analiz język rozprawy jest miejscami - ze względu na używanie specjalistycznej terminologii – hermetyczny i zawiły, choć nigdy nie pozbawiony precyzji.

### **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 o wysokiej złożoności posługując się pogłębionymi analizami statystycznymi, w efekcie wykazał się sprawnością i biegłością nie tylko w pracach obliczeniowych, ale i we właściwej interpretacji uzyskanych wyników. Ujawnił tym samym swoje wysokie kompetencje naukowe, w szczególności umiejętność analizy danych i oceny ich przydatności.

Podjęty problem jest bardzo ważny z inżynierskiego punktu widzenia i stanowi pionierską analizę, która do tej pory nie była wykonana. Prowadzone badania wymagały nie tylko pozyskania bardzo rozbudowanej bazy danych z licznych, rzeczywistych projektów, ale i umiejętnego doboru danych i realizacji uporządkowanej struktury badawczej. Rozwiązując ten problem Doktorant wykazał dojrzałość badawczą wynikającą ze sprawnego posługiwania się zastosowaną metodą oraz wykazał się bardzo dobrym warsztatem metodycznym.

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



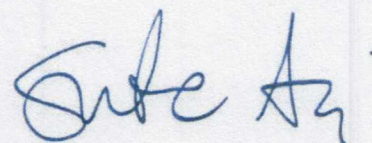
## 6. Wniosek końcowy i jego uzasadnienie

Uzasadnieniem wysokiej oceny pracy są następujące jej walory:

- umiejętność sformułowania problemu naukowego dotyczącego złożonego obiektu badań i poprawna jego strukturalizacja;
- zaprezentowane przez jej Autora bardzo wysokie kompetencje merytoryczne i dojrzałość badawcza;
- wkład w rozwój metod modelowania hałasu drogowego poprzez krytyczną analizę pełnego zbioru danych wejściowych;
- identyfikację zmiennych wpływających na poziom hałasu drogowego;
- wielka swoboda i nadzwyczajna sprawność w posługiwaniu się stosowanymi metodami;
- doprowadzenie do efektywnego rozwiązania postawionego zadania;
- doskonała orientacja w stanie badań i umiejętność ich syntetycznego przedstawienia;
- opracowanie bogatego zbioru wniosków o charakterze użytkowym stanowiących bardzo ważny aspekt w procesie projektowania i eksploatacji infrastruktury drogowej;
- wielki trud badawczy, wykraczający poza zwyczajową pracochłonność prac doktorskich;

Wykazane uwagi krytyczne w żadnym stopniu nie osłabiają wysokiej oceny pracy. W podsumowaniu wniosku wyrażam opinię, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane stosownymi przepisami pracom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Macieja Hałuchę do publicznej obrony pracy doktorskiej w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport.

Ponadto, wobec bardzo wysokiej merytorycznej wartości pracy, chciałbym złożyć wniosek o wyróżnienie dysertacji przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport na Politechnice Lubelskiej.



*prof. dr hab. inż. Andrzej Szarata*