

Prof. dr hab. inż. Krystyna Kuźniar
Uniwersytet Pedagogiczny
im. Komisji Edukacji Narodowej
Wydział Matematyczno-Fizyczno-Techniczny
Instytut Techniki
ul. Podchorążych 2
30-064 Kraków

Kraków, 02.03.2018r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Anny Jakubczyk-Galczyńskiej

pt.: *Prognozowanie wpływu drgań komunikacyjnych na budynki mieszkalne za pomocą sztucznych sieci neuronowych i maszyn wektorów wspierających*

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Robert Jankowski

Promotor pomocniczy rozprawy: dr inż. Adam Kristowski

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowałam na prośbę Pana Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej prof. dr hab. inż. Krzysztofa Wilde, przekazaną w piśmie z dnia 22.01.2018r.

2. Ogólna charakterystyka i ocena rozprawy

Jednym z oddziaływań na konstrukcję budowlaną może być ruch podłoża, na którym ją posadowiono. Źródła takich drgań znajdują się poza obiektem, a wstrząsy dochodzą do niego na skutek propagacji w ośrodku gruntowym. Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy właśnie tego typu oddziaływań, a mianowicie drgań komunikacyjnych, które zaliczane są do tzw. drgań parasejsmicznych, a więc spowodowanych działalnością człowieka. W związku z rozwojem sieci dróg i zwiększającą się liczbą pojazdów, coraz więcej konstrukcji budowlanych podlega tego typu wpływom dynamicznym. Wpływ drgań komunikacyjnych na budynki może objawiać się drobnymi zarysowaniami, ale też poważnymi uszkodzeniami konstrukcji obiektu. Zatem podjęcie przez Doktorantkę badań dotyczących możliwości wykorzystania zaawansowanych technik obliczeniowych, do których należą sztuczne sieci neuronowe i maszyny wektorów wspierających do prognozowania wpływu drgań komunikacyjnych na budynki mieszkalne należy uznać za uzasadnione i potrzebne. Tematyka badań jest ważna i aktualna.

Treść pracy przedstawiono na 177 stronach i podzielono na 7 rozdziałów, bibliografię, spis rysunków i tabel. Tytuł rozprawy prawidłowo odzwierciedla jej treść.

W pierwszym rozdziale Doktorantka krótko scharakteryzowała podjętą problematykę, syntetycznie dokonała przeglądu aktualnego stanu wiedzy związanej z tematem pracy, prawidłowo sformułowała szczegółowe cele rozprawy oraz podała jej zakres. Przedstawiła też tezę naukową rozprawy: „*Na podstawie zaproponowanego algorytmu opartego na SSN oraz na MWW można, z zadowalająco dużym prawdopodobieństwem, prognozować wpływ drgań komunikacyjnych na budynki mieszkalne*”.

Rozdział drugi dotyczy zagadnień związanych z drganiami komunikacyjnymi. Zawiera zwięzły przegląd przepisów prawnych odnoszących się do drgań komunikacyjnych, omówienie ich właściwości jako wymuszenia kinematycznego, przedstawienie wybranych metod oceny wpływu tych drgań na budynki i ludzi w budynkach.

W rozdziale trzecim skupiono się na przedstawieniu metodyki i zakresu przeprowadzonych pomiarów *in situ* oraz na metodyce opracowania wyników pomiarów drgań komunikacyjnych. Badaniami eksperymentalnymi dotyczącymi oddziaływania drgań na budynki objęto 11 jednorodzinnych budynków mieszkalnych. Zarejestrowano 693 przebiegi przyspieszeń drgań. Zakres badań doświadczalnych należałoby uznać więc za dość szeroki.

Rozdział czwarty zawiera zwięzłe przedstawienie podstaw teorii sztucznych sieci neuronowych oraz maszyn wektorów wspierających, a także niektórych zagadnień związanych z ich projektowaniem.

Rozdziały piąty i szósty prezentują oryginalne wyniki numerycznego prognozowania wpływu drgań komunikacyjnych na budynki za pomocą zaprojektowanych przez Autorkę sztucznych sieci neuronowych (w rozdziale piątym) i maszyn wektorów wspierających (w rozdziale szóstym). Warto podkreślić i docenić fakt, że wzorce wykorzystane w obliczeniach bazowały na wynikach badań doświadczalnych na obiektach rzeczywistych. Dodatkowo Autorka wzbogaciła bazę wzorców utworzoną na podstawie własnych pomiarów, o wzorce zbudowane z wykorzystaniem wyników badań innych autorów. Uwagę zwraca bardzo szeroki zakres i skala przeprowadzonych obliczeń. Liczne testy numeryczne wymagały ogromnego nakładu pracy. Te dotyczące np. sieci neuronowych związane były ze szczegółową, wariantową analizą efektywności sieci z różnymi kombinacjami parametrów wejściowych, różną architekturą, z różnym podziałem wzorców na zbiór uczący, weryfikujący i testujący, różnymi funkcjami aktywacji w warstwie ukrytej i wyjściowej. Bardzo ważnym wnioskiem praktycznym z przeprowadzonych przez Doktorantkę obliczeń jest stwierdzenie, że odpowiednio przygotowane sztuczne sieci neuronowe, jak również maszyny wektorów wspierających, pozwalają na prognozowanie wpływu drgań komunikacyjnych na budynki mieszkalne z dokładnością zadowalającą w praktyce. Warto podkreślić, że zaproponowane przez Autorkę wykorzystanie ww. technik obliczeniowych może pozwolić na ograniczenie konieczności wykonywania trudnych, czasochłonnych i kosztownych pomiarów drgań *in situ*.

W ostatnim, siódmym rozdziale zamieszczono ogólne wnioski wynikające z przeprowadzonych badań i wskazano kierunki dalszych prac. Do planowanych prac wskazanych przez Autorkę, dodałabym jeszcze dalszą weryfikację, a może też jeszcze ewentualną modyfikację wybranych sieci neuronowych i maszyn wektorów wspierających z użyciem kolejnych wzorców pozyskiwanych z nowych badań doświadczalnych.

Bibliografia liczy 130 pozycji, w tym sześć prac współautorskich Doktorantki, normy i akty prawne. Autorka bardzo dokładnie rozeznała literaturę przedmiotu. Analiza każdego kolejnego zagadnienia poprzedzona jest szczegółowymi odniesieniami do prac innych autorów. Podkreślić należy, że spis literatury zamieszczony w opiniowanej pracy zawiera wiodące, w tym również najnowsze prace zagraniczne i polskie.

Uważam, że do oryginalnych i najważniejszych efektów naukowych pracy należy zaliczyć:

- wykazanie, że na podstawie tylko takich parametrów jak: stan budynku, odległość budynku od krawędzi drogi, absorpcja gruntu, rodzaj nawierzchni drogi, stan nawierzchni drogi, typ przejeżdżającego pojazdu, a więc bez konieczności przeprowadzania pomiarów drgań, możliwa jest klasyfikacja wpływu drgań komunikacyjnych na budynki z użyciem sztucznych sieci neuronowych oraz uczenia maszynowego,
- opracowanie autorskich algorytmów postępowania służących do prognozowania wpływu drgań komunikacyjnych na budynki, wykorzystujących wyniki badań doświadczalnych *in situ*, analizę neuronową oraz uczenie maszynowe,
- wykorzystanie wyników analiz neuronowych do wskazania czynników (parametrów), które mają najbardziej istotny wpływ na ocenę szkodliwości drgań komunikacyjnych dla budynków,
- propozycję wyznaczania liczbowych wskaźników do oceny stanu nawierzchni bitumicznych i nawierzchni z płyt betonowych według autorskich wzorów odpowiednio (5.1) i (5.2).

Warto zaznaczyć, że dodatkowym walorem pracy jest potencjalna możliwość wykorzystania wyników badań do celów praktycznych.

3. Uwagi do rozprawy

3.1. Uwagi do dyskusji, pytania do Autorki

- Dlaczego do oceny wpływu drgań komunikacyjnych na budynek 2 użyto skali SWD I (taka informacja zawarta jest w tabeli 3.1), podczas gdy z opisu tego budynku (str. 35) wynika, że nie spełnia on warunków podanych dla skali SWD I (wymiarzy zewnętrzne przekraczają 15m).
- W ramach przygotowywania bazy wzorców do obliczeń neuronowych oraz z użyciem maszyn wektorów wspierających, Doktorantka wstępnie przeanalizowała imponującą liczbę prawie 700 zarejestrowanych *in situ* przebiegów drgań. Wyselekcjonowane 33 przypadki wykorzystwała następnie w obliczeniach.
Czy w tej początkowej fazie badań była robiona analiza zależności wyniku oceny wpływu drgań na budynki od kierunku pomierzonego przebiegu przyśpieszeń drgań branego pod uwagę – składowej w kierunku prostopadłym do osi jezdni (w tzw. kierunku radialnym) albo składowej w kierunku równoległym do osi jezdni. Interesujące byłyby ewentualne różnice ocen szkodliwości drgań dokonanych na podstawie drgań w tych dwóch kierunkach.

- Wydaje się, że w przypadku niektórych zaproponowanych przez Autorkę sieci neuronowych liczba wzorców uczących jest zbyt mała w stosunku do liczby parametrów sieci, co może mieć wpływ na właściwości generalizacyjne sieci. Trudno tu podać precyzyjną zależność, ale zgodnie z literaturą, im większy jest stosunek liczby wzorców uczących sieci (L) do liczby parametrów sieci (LPS), tym lepsze właściwości uogólniania ma sieć. Przykładowo zalecane jest spełnienie warunku: $LPS \leq L \cdot M$, gdzie: LPS – liczba parametrów sieci, L – liczba wzorców uczących, M – liczba neuronów w warstwie wyjściowej.

Oczywiście w przypadku wzorców uzyskiwanych z danych doświadczalnych mała ich liczba jest dość typowym problemem w analizie neuronowej.

- Nie bardzo rozumiem dlaczego podając architekturę sieci (np. w zbiorczej tabeli 5.15, str. 85), Autorka konsekwentnie w warstwach wyjściowych wszystkich sieci umieszcza dwa neurony. Wydaje się, że wektor wyjścia powinien być jednoelementowy. Jest w nim informacja o braku wpływu drgań na budynek (a więc informacja o I strefie według skali SWD I albo SWD II), albo o przypuszczalnym wpływie drgań na budynek (a więc informacja, że mamy do czynienia z II-gą lub wyższą strefą według skal SWD).

Zresztą w szczegółowym opisie sieci w dalszej części pracy, np. sieci nr I na str. 87 (6-ta linia od dołu) Autorka pisze: „Wektor wyjścia miał postać: $\mathbf{y}_{(1 \times 1)} = \{y\}$; $y \in \{0, 1\}$.”, co potwierdzałoby, że we wszystkich strukturach sieci na końcu zamiast dwójki powinna być jedynka.

- Należałoby się zgodzić, że owszem, przy ocenie wpływu drgań komunikacyjnych na budynek ważną jest informacja, że drgania nie są groźne dla budynku, czyli klasyfikacja efektów wpływów dynamicznych na budynki do pierwszej strefy skali SWD. Niemniej jednak wydaje się, że z praktycznego punktu widzenia jeszcze ważniejsza jest wiedza, że drgania mogą być szkodliwe. Zatem do praktycznego wykorzystania zdecydowanie bardziej nadawałyby się sieci neuronowe lub maszyny wektorów wspierających, które prawidłowo identyfikują przypadki drgań zaliczanych do strefy II SWD i wyższych. Wydaje się, że to kryterium można byłoby uznać nawet za ważniejsze niż ocena dokładności prognozowania na podstawie procentowego udziału poprawnie wskazanych wyników bez rozróżnienia do której klasy należą.

I tak np. w przypadku sieci I, wariant 1, nr sieci 1 (wyniki w tabelach 5.17 – 5.20) wprawdzie prawie 78% wzorców testujących, prawie 82% wzorców uczących i aż 90% wzorców weryfikujących zostało sklasyfikowanych przez sieć prawidłowo, ale wśród wszystkich wzorców dotyczących drgań ze strefy II lub wyższych tylko 50% sieć rozpoznała prawidłowo. A w przypadku sieci I, wariant 1, nr sieci 5 było to nawet 0%. Podobny problem wystąpił w niektórych maszynach wektorów wspierających, np. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 4.4. Generalnie chodzi tu o takie przypadki, w których procent wzorców rozpoznanych z sukcesem jest satysfakcjonujący, ale wynika to głównie z dobrych prognoz w grupie z 1-szej strefy drgań. Dobrze byłoby więc oceniać trafność prognoz również osobno w dwóch grupach informacji wyjściowej: NIE i TAK.

Zatem mimo, że na dobre właściwości generalizacyjne sieci wskazuje niski błąd testowania, wydaje się, że w odniesieniu do tego szczególnego problemu oceny wpływu drgań komunikacyjnych na budynki, przy wyborze i rekomendowaniu sieci do praktycznego stosowania, warto byłoby rozważyć połączenie tych dwóch ww. kryteriów.

- Z uznaniem należałoby odnotować fakt bardzo szerokiego zakresu obliczeń za pomocą sieci neuronowych z przyjmowanymi różnymi kombinacjami funkcji aktywacji w warstwie ukrytej i wyjściowej (np. funkcje: liniowa, sigmoidalna unipolarna, tangens hiperboliczny, sinus, regresja wieloraka, Gaussa, wykładnicza). Jednak moje wątpliwości budzi tutaj propozycja przyjęcia sigmoidalnej unipolarnej funkcji aktywacji w warstwie wyjściowej np. w przypadkach sieci: sieć II, wariant 1, nr sieci 4; sieć II, wariant 2, nr sieci 4; sieć III, wariant 1, nr sieci 2; sieć V, wariant 1, nr sieci 5. Funkcja sigmoidalna unipolarna przyjmuje wartości z przedziału obustronnie otwartego (0, 1). Tymczasem na wyjściu z sieci oczekuje się „0” w przypadku strefy I SWD, albo „1” w przypadku strefy II i wyższych SWD.

3.2. Uwagi szczegółowe

- Należy zauważyć, że normy na które powołuje się Autorka:
 - a) PN-85/B-02170 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki,
 - b) PN-88/B-02171 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach, występują aktualnie w nowszych, znowelizowanych wersjach i mają odpowiednio zmienione numery:
 - a) PN-B-02170:2016-12 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki,
 - b) PN-B-02171:2017-06 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.
- Na rys. 2.4 brakuje ważnej informacji, że wykres umieszczony po lewej stronie dotyczy kierunku Z, a wykres po prawej stronie odpowiada kierunkom X,Y.
- Na str. 29 jest odwołanie do pozycji literatury (Stypuła 2009), która nie została zamieszczona w Bibliografii.

3.3. Uwagi redakcyjne

Podczas lektury ocenianej pracy dostrzegłam jedynie drobne i nieliczne niedociągnięcia natury redakcyjnej:

- Można byłoby ewentualnie zredukować niektóre fragmenty pracy (albo wręcz z nich zrezygnować) i tylko odwoływać się do tych samych informacji podanych we wcześniejszych rozdziałach (np. szczegółowy opis parametrów wejściowych).
- „Pozostawianie” na końcu linii „i”, „w”, „o” itp., np. str. 8, 17, 62, 87, 93, 97, 103, 107, 116, 131, 143, 146, 150, 154, 161, 162.

4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr inż. Anny Jakubczyk-Gałczyńskiej dotyczy ważnych problemów propagacji w podłożu gruntowym oraz przekazywania na budynek drgań parasejsmicznych – komunikacyjnych. Doktorantka wykazała się umiejętnością zaplanowania, zorganizowania i przeprowadzenia badań doświadczalnych, tym trudniejszych, że były to badania na obiektach rzeczywistych. Jednocześnie udowodniła biegłe opanowanie zaawansowanych technik obliczeniowych (w szczególności sztucznych sieci neuronowych i maszyn wektorów wspierających). Wykazała się umiejętnością prowadzenia badań naukowych, których wyniki pozwoliły na przedstawienie w pracy oryginalnej propozycji klasyfikacji wpływu drgań komunikacyjnych na budynki mieszkalne z wykorzystaniem ww. narzędzi obliczeniowych. Ten efekt pracy naukowej mgr inż. Anny Jakubczyk-Gałczyńskiej może mieć także istotne znaczenie praktyczne.

Założone przez Autorkę cele pracy zostały osiągnięte, a podstawowa teza pracy wykazana. Kwestie dyskusyjne i nieliczne, drobne uchybienia nie podważają pozytywnej oceny rozprawy.

Zdecydowanie stwierdzam, że przedłożona przez mgr inż. Annę Jakubczyk-Gałczyńską rozprawa doktorska pt.: *„Prognozowanie wpływu drgań komunikacyjnych na budynki mieszkalne za pomocą sztucznych sieci neuronowych i maszyn wektorów wspierających”* spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w *Ustawie o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003r. (z późniejszymi zmianami). Wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie Pani mgr inż. Anny Jakubczyk-Gałczyńskiej do publicznej obrony rozprawy.

