



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



WYDZIAŁ
BUDOWNICTWA
INŻYNIERII ŚRODOWISKA
I ARCHITEKTURY
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Prof. dr hab. inż. Leonard Ziemiański
Katedra Mechaniki Konstrukcji
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska
i Architektury

Rzeszów, 28.12.2017

OPINIA

o rozprawie doktorskiej mgr inż. Beaty Potrzeszcz-Sut, pt.

„Sieci neuronowe w wybranych zagadnieniach mechaniki konstrukcji i materiałów”.

Podstawę do oceny stanowi pismo dziekana prof. Marka Iwańskiego z dnia 23 października 2017 roku dotyczące powierzenia mi przez Radę Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej wykonania niniejszej opinii. Podstawę merytoryczną stanowi dostarczona praca doktorska.

W opiniowanej pracy pt. *„Sieci neuronowe w wybranych zagadnieniach mechaniki konstrukcji i materiałów”* mgr Beata Potrzeszcz-Sut (dalej nazywana Autorem) zajmuje się ciekawym i aktualnym problemem zastosowania niekonwencjonalnych metod obliczeniowych (sztuczne sieci neuronowe) do analizy zagadnień mechaniki materiałów i konstrukcji. W pracy skupiono się głównie na zagadnieniu predykcji w zadaniach: i) identyfikacji parametrów materiału sprężysto-plastycznego, ii) niezawodności kratownic przestrzennych metodą Monte Carlo, iii) formułowania modelu materiałowego (model Ramberga-Osgooda) w postaci aproksymatora neuronowego. Zagadnienia te analizowano posługując się wyłącznie danymi otrzymanymi z symulacji numerycznych. Autorka podjęła trudny temat, który wymaga starannego przygotowania z dziedziny zastosowania metod obliczeniowych. Ważność tematu którym zajęła się Autorka wynika z obszaru potencjalnego zastosowania wyników w badaniach naukowych oraz w analizie konstrukcji. Tak więc wybór tematu jak i zakres opiniowanej pracy należy uznać za aktualny i w pełni uzasadniony.

Podejmowane zadanie precyzujące cel, zakres oraz metodykę rozwiązania problemu przedstawione w pracy jest sformułowane jasno i poprawnie.

Omówienie pracy

Rozprawa mgr Magdaleny Potrzeszcz-Sut składająca się z 134 stron podzielona jest na osiem rozdziałów. Wykaz literatury obejmuje 179 pozycje.

Zakres i cel rozprawy zostały przedstawione w wprowadzeniu. Sformułowano cel główny pracy jako : „analiza wybranych problemów mechaniki konstrukcji i materiałów za pomocą systemów hybrydowych integrujących dwie techniki obliczeniowe: metodę elementów skończonych i sztuczne sieci obliczeniowe ...”, jak i cele narzędziowe i aplikacyjne. Cele te można określić jako analiza różnych podejść i możliwości zastosowania sztucznych sieci neuronowych w obliczeniach numerycznych identyfikacji parametrów materiałowych i niezawodności konstrukcji kratowych. Zadania do rozwiązania zostały określone przez Autorkę w sposób prawidłowy.

W rozdziale drugim omówione zostały sztuczne sieci neuronowe. Autorka przytoczyła model sztucznego neuronu, omówiła architektury sieci neuronowych oraz opisała podstawowe algorytmy uczenia. Zostały też zdefiniowane miary błędów które są wykorzystywane w pracy. Omówiła także metody projektowania sieci neuronowych. Rozdział trzeci poświęcony jest omówieniu podstaw, klasyfikacji i zastosowaniu systemów hybrydowych. Rozdział czwarty przedstawia model materiału Ramberga-Osgooda. Rozdziały te (drugi do czwartego) stanowią wprowadzenie do tematyki realizowanej pracy doktorskiej, jak również są krótkim omówieniem literatury.

Rozdział piąty poświęcony jest zastosowaniu Sztucznych Sieci Neuronowych w zagadnieniu identyfikacji parametrów materiału sprężysto-plastycznego. Autorka zajęła się standardową siecią neuronową z wsteczną propagacją błędu (WPB). Rozdział ten jest w zasadzie powtórzeniem prac prowadzonych przez zespół prof. Maiera w ośrodku mediolańskim. Nowością jest tylko zastosowanie aproksymacji funkcjami bazowymi zamiast zastosowania analizy składników głównych (PCA), do redukcji rozmiarów wektora danych (krzywych indentacji i wykresów profili odcisków).

W następnym rozdziale (szóstym) zajęto się analizą niezawodności kratownic przestrzennych metodą Monte Carlo. Autorka przeanalizowała dwie przestrzenne kratownice stalowe. Analizę przeprowadzono zakładając trzy typy nieliniowości modelu : nieliniowość geometryczną, nieliniowość materiałową i obie nieliniowości występujące równocześnie. Celem rozdziału było sprawdzenie efektywności zaproponowanej hybrydowej metody w obliczeniach symulacyjnych Monte Carlo.

W rozdziale tym dokonano analizy niezawodności analizowanych układów kratowych a także dokonano analizy wrażliwości badanych konstrukcji na wybrane czynniki losowe, takie jak : pole przekroju elementów, węzłowa siła P obciążająca układ, granica plastyczności stali, moduł sprężystości. Wyniki obliczeń przedstawiono głównie w postaci krzywych niezawodności dla analizowanych przypadków zmiennych losowych. Porównano też czasy obliczeń symulacji MC; z wykorzystaniem sieci neuronowej i bazując tylko na obliczeniach MES.

W rozdziale siódmym Autorka zajęła się problemem formułowania modelu materiału według prawa Ramberga-Osgooda stosując aproksymator neuronowy. Analizowano dwa podejścia: i) z sieci SWPB uzyskiwano wartość naprężenia a następnie moduł styczny wyznaczano z prawa fizycznego materiału , ii) z sieci SWPB uzyskiwano wartość naprężenia i moduł styczny. Zaproponowany neuronowy model materiału został wykorzystany w analizie trzech aluminiowych kratownic. Autorka wykazała efektywność zaproponowanych podejść.

W moim przekonaniu rozdział 7 należy do najbardziej wartościowych części rozprawy, stanowi o oryginalnym wkładzie Autorki w rozwój metod przetwarzania neuronowego – opracowanie neuronowego modelu materiału (NMM), który został efektywnie wykorzystany w numerycznej analizie konstrukcji kratowych. Tego rodzaju podejście definiujemy jako „obliczeniowy system hybrydowy”.

Rozprawę kończy rozdział ósmy gdzie Autorka podsumowała wyniki pracy, podała wnioski z przeprowadzonych badań numerycznych, symulacji sieci neuronowych oraz przedstawiła możliwości dalszego rozwoju opracowanych metod.

Celem głównym rozprawy jest sprawdzenie możliwości zastosowania w mechanice konstrukcji i materiałów, sztucznych sieci neuronowych zastosowanych w systemach hybrydowych oraz wykazanie ich numerycznej efektywności. Przez Autorkę zostało to sformułowane w sposób następujący : „ ... *analiza wybranych problemów mechaniki konstrukcji i materiałów za pomocą systemów hybrydowych integrujących dwie techniki obliczeniowe: mes i ssn ...*”.

Uważam, że cel pracy postawiony przez Autorkę został osiągnięty (choć mam pewne wątpliwości metodologiczne, które przedstawię w dalszej części recenzji), że użyte w pracy metody obliczeniowe są poprawne i świadczą o przygotowaniu Autorki do samodzielnej pracy naukowej w dziedzinie mechaniki i metod obliczeniowych konstrukcji. Uważam ponadto, że przedstawiona praca (mimo pewnych błędów i nieprecyzyjności o których będę pisał później), w sposób jasny i klarowny omawia analizowane zagadnienia, gdzie Autorka wykazała dojrzałość badawczą i odpowiednie przygotowanie do prowadzenia badań naukowych.

Najistotniejszym efektem pracy jest, w mojej opinii, wykazanie efektywności i przydatności sieci neuronowych do analizy niezawodności kratownic i formułowania modelu materiału w zadaniach obliczeniowych mechaniki materiałów i konstrukcji. Przedstawione w pracy wyniki obliczeń pokazują, że podejście neuronowe może być bardzo sprawnym i efektywnym narzędziem.

Uwagi do pracy i pytania

Niżej podaję tylko wybrane uwagi i niektóre pytania.

1. Nawiązując do wcześniejszej mojej uwagi dotyczącej wątpliwości metodologicznej, chciałbym wyjaśnić czego ta wątpliwość dotyczy. Otóż nie jestem przekonany, że metodę identyfikacji parametrów materiału przedstawioną w rozdziale piątym możemy nazwać, tak jak sugeruje to Autorka, hybrydowym podejściem. Oczywiście stosuje model mes do generowania danych, które następnie są podstawą zastosowania sieci neuronowych do identyfikacji parametrów materiału, ale w mojej opinii nie to stanowi o tym, żeby można sklasyfikować takie podejście jako hybrydowe. Tym niemniej jest to co najmniej dyskusyjne. Druga uwaga metodologiczna dotyczy używania przez Autorkę terminu „pseudo-eksperymentalnego testu” - rozdział 5, str. 46, 48, 50. W zadaniu tym mamy do czynienia z danymi numerycznymi, więc możemy mówić o teście numerycznym. Zdaję sobie sprawę, że w wielu pracach używa się sformułowania „pseudo-eksperymentalne testy”, ale jest to uprawnione wtedy, kiedy dane numeryczne obciąża się procesami symulującymi eksperyment, np. biały szum. itp. Tak jak to było robione w pracach źródłowych zespołu prof. Maiera.

2. Praca składa się z dwóch części. W części pierwszej przedstawiono treści omawiające zagadnienia poruszane w pracy, w części drugiej przedstawiono wyniki prac i badań Autora. Część I jest oparta głównie na opracowaniach literaturowych i pracach innych autorów, liczy 40 stron. Część druga natomiast liczy 75 stron. Wydaje się, że niektóre treści są niepotrzebne, jak np. punkty 6.6.2 i 6.6.3. Nie wnoszą niczego istotnego do rozprawy doktorskiej, zwłaszcza że są to treści podręcznikowe (macierz sztywności przestrzennego kratowego elementu skończonego) .

3. Pewien niedosyt pozostawia rozdział piąty. Jak już napisałem to wcześniej cyt.: „Rozdział ten jest w zasadzie powtórzeniem części prac prowadzonych przez zespół prof. Maiera w ośrodku mediolańskim”. Jedyną różnicą jest sposób aproksymacji krzywych indentacji i wykresów profili odcisku. Wydaje się, że należało się skupić na pokazaniu różnic w otrzymanych wynikach na tym podejściu i podejściu zastosowanym w oryginalnych pracach – wykorzystaniu składników PCA.

4. W pracy nie podano w sposób jasny jakie kryterium zastosowano do wyboru wytrenowanych sieci których wyniki prezentowano. Prosiłbym o wyjaśnienie ? Na str. 100 mamy „... Proces formułowania zaakceptowanej sieci został zakończony po $S=28$ epokach uczenia, gdzie wartości błędów ... uczenia i testowania wynosiły ...”. Wskazywałoby to na stosowanie kryterium stopu, czyli walidacji, nie można wtedy mówić o błędzie testowania lecz o błędzie walidacji.

5. W pracy brakuje mi trochę informacji dotyczących realizacji procesów obliczeniowych związanych z sieciami neuronowymi, np. jakie były kryteria kończenia procesu uczenia sieci, czy stosowana była walidacja, czy wyniki obliczeń były z jednokrotnego przebiegu testowania czy też były wynikami statystycznymi ?

6. W rozdziale 6 jedną z zmiennych losowych była siła P . Czy zmienność odnosiła się tylko do wartości siły, która zmieniała się tylko tak samo w wszystkich węzłach, czy zmienność dotyczyła rozkładu niezależnego w każdym węźle ?

7. W rozdziale 7 na str. 105 pojawia się taka informacja, cytuję „program hybrydowy MES/NMM_{RO} wykorzystywany był wyłącznie do realizacji procesu obciążenia ...” bez wytłumaczenia tego i bez uzasadnienia. Prosiłbym o wyjaśnienie. Również na str. 101 podano „W związku z większą efektywnością numeryczną otrzymaną dla wariantu II” bez uzasadnienia czym się ta większa efektywność przejawia.

W pracy dostrzegłem kilka drobnych błędów, których, ze względu na znikome ich znaczenie, nie podnoszę w recenzji.

Wnioski końcowe

Przedstawione wyżej uwagi szczegółowe nie umniejszają merytorycznej wartości pracy. Pragnę sformułować kilka wniosków ogólnych.

1. Rozprawa napisana jest poprawnie, kontynuowane jest logiczne rozwinięcie tezy i celu pracy.
2. Autorka wykazała szeroką wiedzę w zakresie metod numerycznych oraz zastosowała ją do zagadnień mechaniki materiałów i konstrukcji w sposób efektywny.
3. Rozprawa zawiera części oryginalne, dotyczy to zwłaszcza analizy problemu przystosowania sprężysto-plastycznej konstrukcji kratowej. W problemie tym zastosowano neuronowy model materiału, który w procesie obliczeniowym zastępował prawo fizyczne Ramberga-Osgooda.
4. Cele pracy oraz zadania wynikające z tezy zostały zrealizowane. Wskazane zostały także obszary dalszych badań.

Opierając się na powyższych wnioskach stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca mgr inż. Beata Potrzeszcz-Sut pt. *„Sieci neuronowe w wybranych zagadnieniach mechaniki konstrukcji i materiałów”*, stanowi twórczy wkład do nauki w dyscyplinie budownictwo oraz spełnia wszystkie warunki stawiane rozprawom doktorskim przez aktualnie obowiązujące przepisy (Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku) i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

