Recenzja spełnia wymagania formalne

prof. dr hab. inż. Lech Czarnecki, dr h.c.
Instytut Techniki Budowlanej

Warszawa, dnia 8 września 2022 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej pt. „Prediction of the mechanical and electrical properties of cementitious composites using artificial neural networks" autorstwa mgr inż. Sofiji Kekez

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport dr hab. inż. Marcina Stańka, profesora Politechniki Śląskiej (L.dz. RDIT/512.10.2022) z dnia 08.07.2022 informujące o uchwale Rady Dyscypliny powierzającej mi obowiązki recenzenta i opracowanie opinii rozprawy doktorskiej jak to sformułowano powyżej. Rozprawa jest przedstawiona w języku angielskim, jednakże poinformowano mnie, że recenzja powinna być opracowana w języku polskim.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiot recenzji stanowi opracowanie pt. „Prediction of the mechanical and electrical properties of cementitious composites using artificial neural networks" autorstwa mgr inż. Sofiji Kekez, przedstawione Radzie Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej jako rozprawa doktorska. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Jan Kubica, a promotorem pomocniczym – dr inż. Marcin Górski. Autorka rozprawy mgr inż. Sofija Kekez jest absolwentką Interdyscyplinarnej Szkoły Doktorskiej Politechniki Śląskiej „Simulation in Engineering" (2018-2022). Tytuł zawodowy magistra inżynierii lądowej w specjalności

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny
Inżynieria Lądowa i Transport
wpłynęło dnia 23.09.2022
nr 271 zał. —

konstrukcje inżynierskie (2015-2017) uzyskała na Uniwersytecie Nowy Sad, Serbia, i na tymże Uniwersytecie w roku 2015 uzyskała tytuł licencjata. Doktorantka jest autorką lub współautorką 14 publikacji, członkiem RILEM, brała aktywny udział w dziewięciu konferencjach naukowych w różnych krajach europejskich.

Mgr inż. Sofija Kekez przedstawiła rozprawę doktorską liczącą 165 stron maszynopisu, w tym 65 często bardzo złożonych rysunków i 28 tablic. Do właściwej rozprawy dołączono dwa załączniki: A – ANSYS simulations (30 stron), w którym przedstawiono stabelaryzowane wyniki i ich ilustracje przedstawione na 16 rysunkach; B – Artificial Neural Network (106 stron), w którym na 45 stronach przedstawiono stabelaryzowane wyniki, a pozostałe strony poświęcono prezentacji tych wyników w postaci funkcji regresji i histogramów.

Treść rozprawy została przedstawiona w dziewięciu rozdziałach. We *Wprowadzeniu* przestawiono przesłanki podjęcia tej tematyki, a następnie przegląd literatury dotyczący projektowania betonu (II.1) i sztucznych sieci neuronowych (II.2). W rozdziale III wyodrębnionym jako *Theoretical background* przedstawiono podstawowe pojęcia i zależności dotyczące elektrotechniki (III.1), projektowania betonu (III.2), betonów samomonitorujących „self-sensing concrete" (III.3), symulacji numerycznych (III.4) i sztucznych sieci neuronowych (III.5). Następnie przedstawiono hipotezy badawcze (IV). Rozdział V to część badawcza – *Experimental research*, w której przedstawiono: materiały (V.1), sposób przygotowania próbek (V.2), metody badawcze (V.3) i normy (V.4). Na podstawie uzyskanych wyników – „based on the results of the experimetal research" – przedstawiono analizę numeryczną i odpowiednie symulacje (VI) oraz opracowano model sztucznych sieci neuronowych (VII), które przetestowano, a wyniki zwalidowano. Wnioski przedstawiono w rozdziale VIII, a wartościowe wskazania w zakresie dalszych badań w rozdziale IX. W rozprawie przytoczono 134 pozycje literatury, w tym dwie pozycje współautorstwa Doktorantki opublikowane w *Materials* (IF=3,6). Wraz z oryginałem rozprawy zostało udostępnione liczące dziewięć stron streszczenie pracy w języku polskim.

3. <u>Ocena celowości podjęcia tematu oraz trafności sformułowania problemu naukowego i tez badawczych</u>

Tematyka dzieła należy do ważnych, rozwijających się kierunków badań, istotnych dla technologii betonu, a w konsekwencji tworzenia materialnego dorobku cywilizacyjnego.

Poszukiwania naukowych narzędzi doskonalenia projektowania betonu jest szczególnie ważne obecnie, gdy stosowanie nanomateriałów stwarza sytuację, że niewielki udział składnika powoduje istotne zmiany właściwości technicznych. Tytuł rozprawy w polskiej wersji językowej rozpoczyna się od słów „Prognozowanie". Użycie w tytule rzeczownika odsłownego „prognozowanie" zdecydowanie wskazuje na proces, a nie na jego rezultat – „prognoza". Być może w języku angielskim trafniej byłoby „prediciting". Uzasadnienie przytoczone przez Autorkę (II.1) prawie w całości nawiązuje do metod projektowania mieszanki betonowej. Nasuwa się pytanie, czy nie byłoby trafniej uwidocznić to w tytule rozprawy, np. „Metoda projektowania betonu z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej".

W rozprawie zostało sformułowanych osiem hipotez badawczych (III, s. 60). Hipotezy te zostały sformułowane w kategoriach bardzo ogólnych, zarówno odnośnie do zbiorów: właściwości mechaniczne i właściwości elektryczne betonu, jak i działań, których dotyczą: „poprawia, modeluje, realistycznie odpowiada, prognozuje, przewiduje". Zbiór właściwości mechanicznych jest znacznie liczniejszy niż wymienione w rozprawie; pominięto np. cechy związane ze zjawiskiem pełzania. Także sformułowanie „enhanced electrical properties" budzi wątpliwości przez swoją ogólność – czy będzie to oznaczało np. o zwiększonej „conductivity" czy o zwiększonej „resistivity".

Rozpatrując zbiór hipotez w kategoriach „oryginalność – oczywistość", to można zauważyć, że wiele z nich, w świetle współczesnego stanu wiedzy, jest bliska oczywistości – zwłaszcza dotyczy to poprawy właściwości mechanicznych betonu przez dodatek CNT lub CNF. W odniesieniu do zastosowania ANSYS MD to rozprawa raczej „determines the feasibility of ANSYS" niż odpowiada na pytanie „can be modeled by ANSYS?". Takie stanowisko zresztą przyjmuje Autorka w publikacji „Numerical simulations of CNT/CNF reinforced concrete using ANSYS" [W: Rossi, P., Tailhan, JL. (eds) Numerical Modeling Strategies for Sustainable Concrete Structures. SSCS 2022. RILEM Bookseries, vol 38. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07746-3_18], która się ukazała już po przygotowaniu monografii doktorskiej (por. także Roopa A.K., Anand M. Huanshyal: Evaluating Self-sensing Property of Carbon Fibre Cement Composite by experimental study and Finite Element Modelling For Structural Health Monitoring Applications, W: 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1070 012041; niecytowane w rozprawie).

Problem naukowy, którego oryginalne rozwiązanie jest ustawowo wymagane, nie został w pracy bezpośrednio zdefiniowany. Uważam jednakże, że w rozpatrywanym zbiorze hipotez można się dopatrzyć sformułowania problemu naukowego, jednakże należałoby zmniejszyć

liczbę hipotez i bardziej ją uszczegółowić. W obecnym ujęciu sformułowanie problemu naukowego może być traktowane jako domniemane.

4. Ocena poprawności wnioskowania naukowego

Celem pracy – z natury rzeczy – było dowiedzenie hipotez badawczych, które zostały w rozprawie postawione (rozdz. IV). Istotnie całe rozumowanie przedstawione w pracy jest konsekwentnie podporządkowane realizacji tego celu. We *Wprowadzeniu* (s. 12) przedstawiono "the objectives of this dissertation", m.in.:

- "Forming a comprehensive collection of experiments done on CNT/CNF reinforced concrete, including all possible factors which would affect the final performance of the composite material";
- "The introduction of self-sensing cementitious materials into everyday civil engineering practice";
- "Establish a possible alternative to traditional concrete mix design methods".

Można to zestawienie traktować jako cele cząstkowe, które były realizowane wraz z dowodzeniem hipotez. Największe wątpliwości budzi czy zostały ustalone alternatywne metody projektowania betonu. Należy się tu zgodzić ze stwierdzeniem Autorki, przytoczonym na zakończenie polskiego streszczenia, że było to ideą tej pracy, jednakże jej pełna realizacja wymaga dalszych prac, których zarys zawarto w rozdziale *Directions for further research* (IX).

Drugą istotną uwagę o charakterze ogólnym dotyczącą problemu naukowego przedstawiono w poprzednim punkcie recenzji. Przytoczone poniżej uwagi mają charakter punktowy:

- nie przytoczono kryteriów wyboru nano-dodatków CNT i CNF jako właściwych do zrealizowania celów pracy;
- "Artificial neural network models are based on data, excluding the need for specifying the underlying mechanism of the problem." (s. 19). Czy stwierdzenie to nie jest zbyt kategoryczne, czy nie będzie prowadzić do „false-relationship"?
- "the quality of the binding is dependent on the relationship between the cement paste and the type, shape, and size of the aggregate". Pominięto "aggregate surface";
- "higher permeability of concrete" jest traktowana jako "improvement" (s. 28). Może to być słuszne jedynie dla betonów w niektórych zastosowaniach. Zważywszy, że

wytrzymałość na ściskanie maleje wraz z zawartością porów w szóstej potędze, nie dotyczy to betonów konstrukcyjnych;

- wśród 11 wymienionych (s. 29) metod projektowania betonu całkowicie pominięto metodę według normy europejskiej EN206;
- "the ability of sensing [...] damage and simultaneously improving its mechanical properties" (s. 31). Wymaganie poprawy właściwości mechanicznych równocześnie ze zniszczeniem "damage" wydaje się oczekiwaniem nadmiarowym, byłoby to działanie *post factum*. Tu i w następnych zdaniach należałoby raczej traktować o zagrożeniu „damage thread", a nie „damage";
- podane wymiary próbek (s. 70), z wyjątkiem kostki 150×150×150, mogą mieć tylko zastosowanie do zapraw, z uwagi na relacje „maksymalny wymiar ziarna kruszywa – minimalny wymiar formy";
- w kontekście wyników (s. 80) dla *cem 52 504 NT05* wartość: *Young's modulus* 231,44 GPa przekracza ponad pięciokrotnie wartość referencyjną dla C90/100 według Eurocode 2.

Mimo zauważonych niedoskonałości uważam, że dzieło świadczy o zadowalającym opanowaniu warsztatu naukowego. Analizując zastany stan wiedzy, wykazano wystarczającą orientację ogólną, a sama analiza została przeprowadzona w sposób wnikliwy i przedstawiona w skondensowanej, uporządkowanej formie (np. tabl. 5.2 i 5.3). Przykładowo „szczere" przedstawienie ograniczeń wynikających z zastosowania ANSYS (str. 59) czy też stwierdzenie (s. 52) "these are only recommendations and cannot be dogmatically followed", czy też bardzo trafne stwierdzenie (s. 128) „All models show reliability of over 0.99, however, it only implies that the prediction, which the network can provide, matches the simulations and not a realistic situation.", a także zauważenie (s. 131) możliwości wystąpienia "a false-positive result" – stanowi to dobrą rekomendację walorów przyszłego naukowca.

5. Ocena redakcji naukowej

Układ pracy jest typowy dla prac doświadczalnych i takie też praca sprawia wrażenie. Przedmiotem badań jest beton cementowy modyfikowany węglowymi nanorurkami, CNT, i nanowłóknami, CNF. Cechą szczególną tej rozprawy jest jednakże fakt, że przedmiot badań pozostaje „wirtualny" w tym sensie, że w wyniku tej pracy nie powstał ani jeden wynik własnego pomiaru doświadczalnego. Wszystkie wyjściowe dane doświadczalne zostały

zgromadzone na podstawie analizy 35 pozycji (84-119) literaturowych i pozwoliły na utworzenie wartościowej „Biblioteki Materiałowej" – „Materials Library" (tabl. A 1.1) Bezpośrednia informacja o tak przyjętej procedurze powinna się pojawić w rozdziale wstępnym I.3 *Methodology of research*. Jednym z głównych wniosków z pracy – choć nie wyartykułowanym, a ogromnie inspirującym – powinno być, że w nauce o betonie nie cierpimy na deficyt danych, lecz na brak ich uporządkowania i właściwego opracowania / interpretacji. Przekonywujący dowód stanowią załączniki A i B, gdzie między innymi wygenerowano blisko 1000 wartości cech materiałowych dla symulowanych próbek.

W kilku miejscach pracy (np. str. 61, 89) jest przekazywana – jak gdyby mimochodem – sugestia („the actual capabilities of concrete as the insulating matrix") jakoby badania dotyczyły betonu izolacyjnego. Mogłoby to tłumaczyć dlaczego wysoką przepuszczalność betonu zaliczono do zalet. Całość rozprawy jednakże dotyczy, przynajmniej domyślnie, betonu zwykłego – „Ordinary Cement Concrete", a więc betonu konstrukcyjnego. Szkoda, że ta okoliczność nie została w rozprawie jednoznacznie rozstrzygnięta.

Poniżej przytoczono inne uwagi dotyczące redakcji naukowej, w kolejności w miarę jak się nasuwały przy studiowaniu dzieła:

- brakuje wykazu słów kluczowych „keywords";
- w rozprawie powszechnie używa się terminu „materials" w znaczeniu „concrete-making materials" (S. Popovics, 1979; niecytowana) – jest to bardzo ogólna kategoria. W rozważanym kontekście często wystarczyłoby „ingredients" jako składniki betonu;
- Fig. 3.3.2 wymieniona na s. 38 nie odpowiada rys. 3.3.2 na stronie 33; właściwy rysunek został prawdopodobnie pominięty;
- spis symboli, mimo że obszerny, jest niekompletny; pominięto np. fazę C-S-H (s. 40);
- Fig. 3.3.4 (s. 42) brakuje oznaczenia osi pionowej;
- K^{2+}, Na^{2+} (s. 43) – nie ma takich jonów;
- dla porządku należy zaznaczyć, że zgodnie z normą europejską EN197 cement portlandzki oznacza się CEM I, CEM II itd. (s. 61 i następne, np. tabl. 6.1);
- "Strength classes of the used OPC are 42.5 and 52.5, meaning that [...] is 42.5 MPa and 52.5 MPa" (s. 61). Powinno być: above 42,5 MPa and above 52,5 MPa;
- "the ratio of 1/0.4 for cement/water" (s. 79). Powinno być: 1/4;

- Fig. 6.5.1 – 6.5.5 – nieopisana oś pozioma.

Na zakończenie Autorka przytoczyła bibliografię liczącą 154 trafnie – jak można sądzić – dobranych referencji ponad 300 autorów. Z podziwem i pokorą odnotowuję, że znakomitej większość tych nazwisk nie kojarzyłem dotychczas z nauką o betonie. Wśród tak licznego zbioru jest tylko jedno odniesienie do prac polskich – jest to artykuł promotora pomocniczego: M. Górski et al. [61]. Zabrakło innych prac uczelni dyplomującej, a także np. Z. Waszczyszyn: Artificial neural networks in civil engineering: another five years of research in Poland. CAMES, 2011, 18(3):131-146. Nie twierdzę, że uwzględnienie tych referencji zmieniłoby istotność wywodów Autorki, jednakże upominam się o pewną kurtuazję akademicką.

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Mimo zauważonych niedoskonałości oceniam przedłożoną rozprawę doktorską pozytywnie i uważam, że monografia doktorska stanowi istotną pozycję wśród poszukiwań rozwoju nauki o betonie.

Zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 roku rozprawa doktorska ***prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie [...] oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej [...]*** a ***przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego*** – stwierdzam, że wszystkie te warunki w odniesieniu do rozprawy mgr inż. Sofiji Kekez zostały spełnione.

Recenzję podpisał
Lech Czarnecki

* wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz. U. z 2026 r. poz. 1764)

Marzena Gaura

RDITT.512.10.2022

Instytut Techniki Budowlanej

Badania naukowe | Prace rozwojowe | Akredytowany Zespół Laboratoriów |
Jednostka notyfikowana nr 1488 | Członek EOTA | Certyfikowane systemy zarządzania ISO 9001, ISO 27001

Warszawa, 8 września 2020 r.

Szanowny Pan
Dr hab. inż. Marcin Staniek, prof. PŚ
Przewodniczący Rady Dyscypliny
Inżynieria Lądowa i Transport
Politechnika Śląska
Ul. Karasińskiego 8, pok. 109
40-019 Katowice

Szanowny Panie Przewodniczący,
Szanowny Panie Profesorze

w załączeniu przedkładam recenzję rozprawy doktorskiej pt. „Prediction of the mechanical and electrical properties of cementitious composites using artificial neural networks" autorstwa mgr inż. Sofiji Kekez. Dziękuję za powierzenie mi tego wyróżniającego obowiązku.

Łączę wyrazy szacunku

00-611 Warszawa | ul. Filtrowa 1 | tel. 22 825 04 71 | fax 22 825 52 86 | KRS: 0000158785 | Regon: 000063650 | NIP: 525 000 93 58 |www.itb.pl | instytut@itb.pl

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny
Inżynieria Lądowa i Transport
wpłynęło dnia 23.09.2022
nr 271 zał. 1