

Dr hab. inż. Jerzy RAKOWSKI  
emerytowany prof. Politechniki Poznańskiej  
Osiedle Rusa 98/6  
61-245 Poznań  
E-mail: rakowski.jerzy@gmail.com

Poznań, maj 2023 r.

POLITECHNIKA BYDGOSKA  
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich  
Wpłynęło..... 8 01 2023  
Numer WBAiŚ.....  
Referent/symbol.....

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki GRZYBOWSKIEJ  
pod tytułem

### **Przybliżenie wybranych cech betonu o niskim stosunku wodno-spoiwowym z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych**

#### 1. OPIS PRACY

Przedmiotem opiniowanej rozprawy jest predykcja **wytrzymałości betonu na ściskanie** w odniesieniu do betonów wysokowartościowych o niskim stosunku wodno-spoiwowym. Do analizy problemu i stosownych obliczeń zastosowano metodę wykorzystującą **sztuczne sieci neuronowe**. Rozważania teoretyczne w postaci obliczeń numerycznych konfrontowano z wynikami obszernej ilości badań laboratoryjnych. Rezultaty badań laboratoryjnych posłużyły do stworzenia bazy danych, która stanowi nieodzowny element sztucznych sieci neuronowych. Autorka zastosowała klasyczny zabieg, w którym badana zmienna, to znaczy **wytrzymałość betonu na ściskanie** stanowiła daną wejściową (wyniki badań laboratoryjnych) i daną wyjściową (prognozowana cecha stanowiąca przedmiot badań). Dokonana kalibracja modelu fenomenologicznego stworzonego przez sieć neuronową wykonana została dzięki odpowiedniemu doborowi współczynników wagowych w procesie uczenia. W obliczeniach wykorzystane zostały procedury rozwiązywania zadań nieliniowych, co podwyższa wartość opiniowanej dysertacji. Zademonstrowana przez Doktorantkę metoda jest wygodna w zastosowaniu oraz ekonomiczna. Opracowana rozprawa doktorska stanowi dowód przyjętej tezy badawczej ustalonej z *Promotorem* doktoratu brzmiącej: *istnieje możliwość efektywnego wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do predykcji określonych cech betonów o niskim stosunku wodno-spoiwowym*.

Przedstawiona do opinii praca doktorska wykonana przez Panią mgr inż. Agnieszkę Grzybowską pod naukowym kierownictwem *promotora profesora Adama Podhoreckiego* i przy współudziale *promotora pomocniczego doktora inż. Łukasza Mrozika* z Politechniki Bydgoskiej w Bydgoszczy liczy 207 stron, składa się z siedmiu ponumerowanych rozdziałów poprzedzonych *Wstępem* i zakończona jest *Literaturą (303 pozycje)*, *Spisem rysunków*, *Spisem tabel*, *Streszczeniem* i *Spisem załączników*.

W swym schemacie ideowym rozprawa doktorska zawiera 3 **zasadnicze wątki tematyczne** zasługujące na wyróżnienie. Są one ujęte w kolejnych rozdziałach:

- rozdział 5 - Badania laboratoryjne mieszanek betonowych
- rozdział 6 - Trenowanie sieci neuronowych do predykcji wytrzymałości betonu
- rozdział 7 - Predykcja wytrzymałości betonu z użyciem sieci neuronowych wraz z walidacją

Dwa pierwsze rozdziały mają charakter opisowy. Rozdział 2 *Wybrane informacje z zakresu betonów o niskim stosunku wodno-spoiwowym* ma charakter podręcznika i zawiera podstawowe informacje z zakresu technologii produkcji betonu. Taki sam, podręcznikowy charakter ma pierwsza część rozdziału 3. Omówiono w niej podstawowe pojęcia związane ze sztucznymi sieciami neuronowymi, takie jak: sztuczna inteligencja, inteligencja obliczeniowa, uczenie maszynowe, głębokie uczenie, etc. Przedstawiono w niej całą historię powstania tej dziedziny wiedzy, kierunki rozwoju i zastosowanie różnych rodzajów sieci i budowę ich struktur. Natomiast druga część tego rozdziału zawiera bardzo dokładną analizę dotychczasowych osiągnięć zastosowania sztucznych sieci neuronowych w projektowaniu mieszanek betonowych i w predykcji cech kompozytów cementowych dostępnych w aktualnej, światowej literaturze poświęconej temu problemowi. Analiza ta stanowi wyraźne osiągnięcie Autorki dysertacji, ponieważ wnioski z niej wykorzystane zostały w opracowaniu efektywnej ścieżki Jej badań.

W krótkim rozdziale 4 przedstawiono w sposób syntetyczny przedmiot, cel, tezy badawcze i zakres pracy.

Rozdział 5 to jedna z kluczowych części dysertacji. Przedstawiono w niej dokładny opis badań laboratoryjnych mieszanek betonowych. Omówiono szczegółowo zastosowane składniki mieszanek (rodzaje cementów, kruszyw, dodatków, plastyfikatorów) i urządzenia do produkcji próbek i badania ich cech. Najbardziej cennym elementem tego roz-

działu jest interpretacja wyników badań zawarta w postaci wykresów i tabel. Posłużyły one do opracowania matrycy zastosowanego systemu obliczeń.

We wstępie do rozdziału 6, który poświęcono trenowaniu sieci neuronowej do predykcji wytrzymałości betonu zawarto algorytm obliczeń i przyjęte założenia obliczeń. W dalszej części pokazano architekturę i przebieg procesu uczenia. Przyjęte funkcje aktywacji stanowiły odpowiednie procedury z programu numerycznego STATISTICA. Przeprowadzone symulacje SSN obejmowały predykcje ilościowe składu mieszanki, zawierającej masę różnych jej składników. Wyniki zestawiono w tabelach i w postaci kolorowej wizualizacji graficznej.

Ostateczne potwierdzenie efektów realizacji zadania badawczego stanowiącego przedmiot dysertacji zawarto w rozdziale 7 pod tytułem *Predykcja wytrzymałości betonu z użyciem sieci neuronowych wraz z walidacją*. Dokonano weryfikacji wyników i ich walidacji, a jako miarę sukcesu zastosowano analizę błędu bezwzględnego, błędu względnego i tak zwanego *stopnia zgodności* czyli efektywności metody.

Rozdział 8 to syntetyczne zestawienie efektów pracy doktorskiej i porównanie ich z założonymi zadaniami sformułowanymi w postaci tezy badawczej stanowiącej podstawę opracowania dysertacji.

## 2. OCENA ROZPRAWY

### 2.1. Uwagi ogólne

Wyznacznikiem dobrej pracy naukowej z dziedziny nauk technicznych jest między innymi możliwość aplikacji jej rezultatów. Przez aplikację rozumiem nie tylko praktyczne wdrożenie jej rezultatów, lecz także możliwie dokładne rozwiązanie problemów wymuszonych przez praktykę. Opiniowana przeze mnie dysertacja należy z całą pewnością do tej kategorii prac.

Poszukiwanie nowych metod analiz oraz opisów zjawisk i problemów w nauce należy uznać za efektywne wtedy, gdy ich zastosowanie do rozwiązań konkretnych zagadnień cechuje przewaga nad innymi metodami. Przewaga ta wynika ze spełnienia konkretnych warunków, które zawarte są w ustalonych kryteriach oceny. Może to być: uniwersalność metody bądź opisu, prostota lub łatwość jej zastosowania, czas i koszt obliczeń, dokładność obliczeń, nakład pracy, dostępność odpowiednich narzędzi materialnych lub niematerialnych itp. Można to również inaczej ująć: przyjęta metoda jest skuteczna, gdy daje

spodziewane efekty w rozwiązywaniu złożonych problemów, dla których stosowanie innych metod jest często niemożliwe lub bardziej skomplikowane.

Metody wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe należą do nowoczesnych narzędzi służących do rozwiązywania bardzo złożonych i trudnych zadań z różnych dziedzin nauki gdzie operuje się zbiorami *big data*. W budownictwie stosuje się je między innymi do konstruowania efektywnych rozwiązań skomplikowanych problemów z mechaniki konstrukcji. W pierwszym odruchu oceny pracy, która operuje małymi zbiorami danych tworzonych jako mieszanina piasku, wody i cementu, zastosowanie tej metody wydaje się problematyczne. Jednak, jeśli praca taka ma na celu również naukę i nabycie biegłości w tworzeniu efektywnych algorytmów rozwiązań, to nie ma znaczenia, czy poruszamy się w wirtualnej rzeczywistości czy w obszarze prostych zadań inżynierskich, które mają zastosowanie w praktyce. Podkreślając ten aspekt zastosowania SSN uznaję, że ocenianą dysertację można uznać za realizację zadania badawczego, którą w sposób właściwy Autorka pracy wypełniła. Za szczególne osiągnięcia Doktorantka uważam:

- utworzenie właściwego kodu zastosowanego w algorytmie SSN do predykcji wytrzymałości betonu niskim stosunku wodno-spoiwowym
- wykonanie pracochłonnych badań laboratoryjnych, których efektem było stworzenie odpowiedniej matrycy zastosowanej architekturze opracowanego programu. Badania te obejmowały próbki o szerokim wachlarzu składników mieszanek betonowych, co ma wyjątkowo znaczący aspekt praktyczny
- bardzo rzetelna i szczegółowa analiza dużej liczby pozycji bibliograficznych z zakresu technologii betonu i i sieci neuronowych
- znaczne poszerzenie wiadomości z zakresu trudnej metody wykorzystującej sztuczne sieci neuronowe, co stanowi gwarancję i podbudowę dalszego rozwoju naukowego w zakresie rozwiązań problemów z wykorzystaniem sieci neuronowych
- weryfikacja i walidacja wyników teoretycznych z doświadczalnymi, co w przestrzeni wirtualnej jest trudne do osiągnięcia
- uzyskanie pozytywnej odpowiedzi na postawione pytanie w tezie, a dotyczące efektywności w stosowaniu przyjętej metody badawczej

## 2.2. Szczegółowe uwagi krytyczne

## 2.2. Szczegółowe uwagi krytyczne

Uważna lektura pracy nasuwa pewne uwagi i wątpliwości dotyczące literackiej poprawności opracowania, które przytaczam poniżej. Pisanie tekstów naukowych wymaga umiejętności, doświadczenia i wiedzy. Umiejętności te zdobywa się korzystając z dobrych wzorców oraz nabywając praktyki w tworzeniu kolejnych, pisemnych relacji ze swych osiągnięć.

Uwagi, które uważam za istotne przytaczam poniżej:

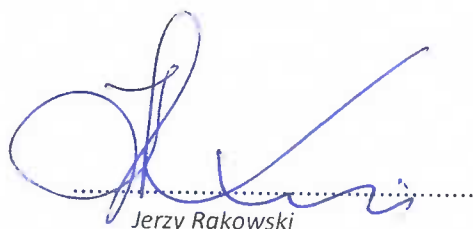
- tytuł *Rozprawy* jest niewłaściwy: wyrażenie „*wybranych cech*” należałoby zastąpić faktycznie analizowaną cechą „*wytrzymałości*” lub „*wytrzymałości na ściskanie*”
- praca jest zbyt obszerna. Rozdział 2 ma charakter podręcznika z zakresu technologii betonu. Dysertacja, ze względu na nakład książki i jej przeznaczenie (adresatów) nie ma charakteru powszechnie dostępnego skryptu. Znam doktoraty z matematyki, których objętość opracowania wynosi 17 stron. Dbajmy o losy lasów Amazonii! Podobna uwaga dotyczy części rozdziału 2
- należałoby zmienić strukturę (kolejność) i zawartość wyróżnionych rozdziałów. Doktorat jest książką już wydrukowaną, więc moje sugestie pozostawiam do ewentualnej dyskusji z Autorką
- styl pisania sprawia wrażenie, że Doktorantka jest zagorzała czytelniczką literatury pięknej! Niestety, język (styl) nauki (nauki ścisłe!) jest mniej ozdobny. W pracy zanotowałem wiele powtórzeń.
- zamiast nazwy rozdziału *Zakończenie* lepiej użyć *Podsumowanie*
- pewien niedosyt stwarza opis badań laboratoryjnych: klasa pomieszczeń laboratorium, brak opisu maszyny wytrzymałościowej (wiarygodność wyników?), sposób pomiaru składników, rodzaje wag...itp. Poza tym aptekarska dokładność klasyfikacji próbek (procenty)?
- zbyt detaliczna (szczegółowa) jest lista przyszłych problemów, stanowiących kontynuację badań naukowych
- zwracam uwagę na bardzo starannie opracowane wyniki obliczeń (strona graficzna)
- krytyczne uwagi w zasadniczy sposób nie obniżają wartości pracy, czemu daję wyraz w poniższym wniosku końcowym

### 3. WNIOSEK KOŃCOWY

Rezultaty badań Autorki stanowiące cel dysertacji oceniam pozytywnie. Metoda zaprezentowana przez Doktorantkę, została opisana poprawnie i z dobrym skutkiem zastosowana do prognozowania wytrzymałości betonu z użyciem sieci neuronowych.

W podsumowaniu stwierdzam, że przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską mgr inż. Agnieszki GRZYBOWSKIEJ pod tytułem **Predykcja wybranych cech betonu o niskim stosunku wodno-spoiwowym z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych** należy uznać jako pracę naukową odpowiadającą wymaganiom stawianym pracom doktorskim zgodnie z obowiązującą *Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym*. Rekomenduję więc kontynuację procedury nadania Pani mgr inż. **Agnieszce Grzybowskiej** stopnia naukowego **doktora** w dziedzinie **nauk inżynieryjno-technicznych** w dyscyplinie **inżynieria lądowa, geodezja i transport**. Wniosuję o **przyjęcie pracy i dopuszczenie jej do publicznej obrony**.

Wniosuję o **wyróżnienie** opiniowanej rozprawy doktorskiej, zgodnie z przyjętymi zasadami nagradzania prac naukowych obowiązującymi w Politechnice Bydgoskiej. Uzasadnienie wynika z mojej oceny pracy zawartej w *Rozdziale 2* recenzji



Jerzy Rakowski

*Powyższa Recenzja została opracowana na podstawie umowy o dzieło zleconej przez Prorektora ds. Nauki i Ewaluacji Politechniki Bydgoskiej oraz na podstawie dostarczonego egzemplarza **Rozprawy Doktorskiej** wydanej drukiem w Politechnice Bydgoskiej w roku 2023.*