

dr hab. inż. Marta Kadela, prof. ITB
Instytut Techniki Budowlanej
ul. Filtrowa 1
00-611 Warszawa
e-mail: m.kadela@itb.pl

Warszawa, 12 czerwca 2019 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Krzysztofa Nepelskiego** pt.:
*„Numeryczne modelowanie pracy konstrukcji posadowionej na lessowym podłożu
gruntowym”*

Promotor: dr hab. inż. Ewa Błazik-Borowy, prof. PL

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Tomasz Lipecki, prof. PL

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie uchwały Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej z dnia 6 marca 2019 r. o powołaniu recenzenta i prośbą Pana Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej, Profesora dr. hab. inż. Bogusława Szmygina, prof. PL, sformułowaną w piśmie nr WB-709/2018 z dnia 5 kwietnia 2019 r.

2. Ocena zasadności podjęcia tematu

Współpraca obiektu budowlanego z podłożem gruntowym stanowi ważne zagadnienie przy projektowaniu i ocenie zachowania obiektów budowlanych. W tej sytuacji każdy program badawczy, którego celem jest poprawa wiarygodności oceny zachowania układu budynek-podłoże gruntowe w modelu numerycznym, jest w pełni uzasadniony. W analizowanej pracy Kandydat podejmuje ważne zagadnienie pracy podłoża typu lessowego, adekwatnego dla regionu Wyżyny Lubelskiej, opisując jego zachowanie przy użyciu modelu stanu krytycznego Modified Cam-Clay. Zagadnienie to było przedmiotem wielu rozważań, jednakże z uwagi na stały rozwój w zakresie komputeryzacji oraz rozwój możliwości badawczych parametrów materiałowych gruntu zachodzi konieczność ciągłego doskonalenia w tym zakresie i prowadzenia dalszych prac badawczych.

Przedstawione w pracy podejście, jak i uzyskane wyniki badań laboratoryjnych, terenowych oraz analiz numerycznych mają charakter aplikacyjny i mogą w przyszłości posłużyć do analiz tego typu dla innych obiektów budowlanych. Tym samym należy stwierdzić, iż podjęty temat rozprawy jest zarówno ważny i cenny z naukowego punktu widzenia, jak i posiada wartość użyteczną.

3. Krótka charakterystyka i zakres pracy

Przedstawiona do recenzji praca ma charakter pracy badawczej. Rozprawa została przedstawiona na 202 stronach maszynopisu formatu A4, które obejmują część zasadniczą (189 strony), składającą się z 6 rozdziałów, w tym wniosków (6 stron). W pracy zamieszczono wykaz podstawowych symboli i skrótów stosowanych w pracy, spisem

literatury (6 stron) oraz streszczenia w języku polskim i angielskim (4 strony). W rozprawie zawarto 146 rysunków i 35 tablic.

Rozdział 1 (Wstęp) stanowi wprowadzenie w tematykę w przedmiot rozprawy. Doktorant przedstawił podjęty w rozprawie problem naukowy, program badawczy oraz zakres pracy. Przedstawienie w sposób graficzny przez Doktoranta schematu badań własnych umożliwia w bardzo przejrzysty i czytelny sposób zapoznanie się z przedmiotem badań.

W rozdziale 2 (Przegląd literatury) szeroko scharakteryzowano badane grunty (lessy), zwracając szczególną uwagę na lessy z rejonu Lublina. Przedstawione zostały modele konstytutywne wykorzystywane do opisu zachowania podłoża gruntowego. W tym miejscu skupiono się na opisie modelu Coulomba-Mohra i modeli stanu krytycznego (modelu Cam Clay i Modyfied Cam Clay). W dalszej części pracy przedstawiono dość problematykę ustalania parametrów gruntu i opisano metody badawcze, do tego wykorzystywane. Przedstawiono krótkie omówienie analizowanych w pracy zagadnień współpracy konstrukcji z podłożem gruntowym spotykane w dotychczasowej literaturze przedmiotu. Na podstawie tej analizy Kandydat przyjął pewne założenia do opracowania własnych modeli obliczeniowych układów budynek-podłoże gruntowe.

Rozdział 3 (Badania lessów z terenu Lublina i okolic) stanowią badania własne lessów z terenu Lublina. Podkreślenia wymaga szeroki zakres badawczy (543 sondowania statyczne CPT/CPTU o łącznej długości ponad 4 000 m bieżących oraz 11 testów dylatometrycznych DMT/SDMT) z 67 różnych lokalizacji na terenie Lublina. Dane przedstawione w niniejszym rozdziale stanowią podstawę do dalszych prac badawczych, przedstawionych w kolejnych rozdziałach. Są zarazem cennym zbiorem danych dla przyszłych badaczy.

W rozdziale 4 (Badania na obiektach rzeczywistych) zawarto program prac badawczych, celem pozyskania danych do modeli numerycznych, stanowiących kolejny rozdział. Doktorant szeroko przedstawił wyniki badań laboratoryjnych i terenowych, przeprowadzonych dla dwóch obiektów budowlanych. Zaprezentowane zostały wyniki pomiarów osiadań poszczególnych segmentów obiektów budowlanych oraz pomiary drgań budynku. Z uwagi na dokładność pomiarów i możliwość ich odniesienia same wyniki stanowią dużą wartość.

Rozdział 5 (Analizy numeryczne obiektów rzeczywistych) stanowią analizy numeryczne dla wybranych dwóch obiektów budowlanych. Szczegółowo przedstawiono wyniki eksperymentu numerycznego, począwszy od analizy połączeń poszczególnych elementów, poprzez analizy dynamiczne obiektu budowlanego, tzw. modele częściowe, stanowiących wyodrębnione z układu budynek-podłoże gruntowe fragmenty, aż po analizy całego układu. Przeprowadzono kalibrację modeli obliczeniowych, bazując na wynikach pomiarów in situ i zaproponowano oryginalne osiągnięcie Kandydata. Rozdział ten stanowi moim zdaniem najistotniejszą część pracy.

Wnioski wynikające z przeprowadzonych badań i analiz zostały przedstawione w **rozdziale 6 (Podsumowanie i wnioski)**. Sformułowano 6 generalnych wniosków, dotyczących realizowanej pracy w zakresie wyznaczania i przyjmowania parametrów modelu konstytutywnego MCC podłoża gruntowego, bazując na wynikach badań in situ (CPT i DMT) oraz modelowania układu budynek-podłoże gruntowe.

Wskazano dalsze kierunki pracy badawczej, między innymi polegające na wyznaczeniu modułów ściśliwości gruntów lessowych w szerokim zakresie odkształceń oraz poszukiwania dalszej korelacji parametrów z badań laboratoryjnych z badaniami terenowymi.

W pracy powołano się na 136 pozycji literaturowych, z czego 12 to normy branżowe. W dużej mierze są to prace, opublikowane w ciągu ostatnich 10 lat. Przy czym pozycje literatury opublikowane przed 2000 rokiem zaliczane są do fundamentalnych dla rozpatrywanej tematyki badawczej. Wśród podanych pozycji Kandydat jest autorem dwóch i współautorem pięciu publikacji.

Na zakończenie rozprawy zamieszczono streszczenie rozprawy doktorskiej w języku polskim i angielskim. Przedstawiono w nim przedmiot badań, zakres metod badawczych i ich cel. Dokonano omówienia uzyskanych wyników badań i analiz numerycznych.

4. Ocena formalna (Ocena programu, zakresu pracy i problemu naukowego)

Przedstawiona praca ma charakter badawczy i obejmuje zagadnienia mechaniki gruntów oraz współpracy obiektu budowlanego z podłożem gruntowy. Problem naukowy sformułowany przez Doktoranta na stronie 9 został niefortunnie nazwany jako „*badania statycznej pracy konstrukcji z uwzględnieniem odkształcalności podłoża gruntowego oraz jego wpływu na powstające odkształcenia i siły wewnętrzne w konstrukcji*”. Niemniej jednak przedstawiony przez niego w dalszej części program badawczy oraz opis rozwiązania problemu badawczego nasuwa w sposób jednoznaczny, że Kandydat miał na myśli sposób uwzględnienie odkształcalności podłoża gruntowego w ocenie statycznej pracy konstrukcji budynku w modelu obliczeniowym oraz jego wpływu na powstające w niej odkształcenia i siły wewnętrzne.

Celem oryginalnego rozwiązania postawionego problemu naukowego przyjęto obszerny program badawczy, który obejmował analizę literatury w zakresie parametrów gruntów typu lessowego i modelowania układów obiekt budowlany-podłoże gruntowe, badania laboratoryjne gruntów, terenowe podłoża gruntowego, badania in situ obiektów budowlanych oraz analizy numeryczne. Zarówno program prac badawczych, jak i zakres pracy uznaje się za odpowiedni, doceniając podejście badawcze, a zarazem inżynierskie. Komentarza wymaga dobór miejsc lokalizacji reperów, stanowiąc odniesienie dla prowadzonych analiz numerycznych oraz sam program badań analizy numerycznych.

Szczegółowo zostanie to przedstawione w uwagach krytycznych niniejszej recenzji.

Zdaniem recenzentki cenne byłyby badania odkształceń i/lub naprężeń elementów budynków lub sił powstających w konstrukcji, co pozwoliłoby na kalibrację modelu obliczeniowego w zakresie powstającego stanu odkształcenia i/lub naprężenia, a nie wyłącznie bazując na przemieszczeniach budynków. W tym zakresie praca nie wyczerpuje w pełni zadania postawionego w ramach problemu naukowego. O zamierzonym ograniczeniu zakresu badań Kandydata wyłącznie jednak do numerycznej analizy pracy konstrukcji może świadczyć tytuł rozprawy doktorskiej „*Numeryczne modelowanie pracy konstrukcji posadowionej na lessowym podłożu gruntowym*”. W połączeniu z tym zaplanowany program badawczy uznaje się za w pełni zrealizowany, otwierając równocześnie nowe drogi badawcze dla przyszłych naukowców lub obszar przyszłych badań Doktoranta.

Uzyskane w rozprawie wyniki badań i analiz oraz opracowany sposób wydzielenia warstw z uwagi na moduł ściśliwości, uzyskany w badaniach sondą stacynną CPT, jak również podział bryły podłoża na rejony obliczeniowe, bazując na wynikach badań terenowych podłoża gruntowego są oryginalnym osiągnięciem Doktoranta. Należy także podkreślić kompleksowe podejście Doktoranta do realizowanego tematu w zakresie wykonanych badań, prac analitycznych oraz modelowych. Kandydat wykazał się przygotowaniem do prowadzenia prac badawczych, analizy wyników i komputerowego modelowania.

Praca jest napisana językiem poprawny, a zamieszczone w niej w dużej ilości rysunki w istotny sposób podnoszą wartość merytoryczną rozprawy doktorskiej.

5. Ocena w zakresie redakcji naukowej

W strukturze rozdziałów rozprawy występuje pewne zróżnicowanie w zakresie ich objętości. Badania własne, stanowiące podstawę do dalszych wniosków, przedstawione w rozdziale 3, zajmują wyłącznie 8 stron, odsyłając czytelnika do innych publikacji Kandydata słowami „Szczegółowa analiza wyników uzyskanych z części sondowań CPT/CPTU została opisana w artykule [85]” czy „Szerszy opis analizy porównawczej tych wyników został przedstawiony w pracy autora [83]”. Podczas gdy pomiary dla obiektów rzeczywistych i analizy numeryczne przeprowadzone w rozdziałach kolejnych (odpowiednio 4 i 5) zostały zaprezentowane na 58 stronach (rozdział 4) i 71 stronach (rozdział 5).

W rozdziale 5 zostały przedstawione zarówno wstępne analizy numeryczne, zasadnicze, kalibrowanie modelu, bazując na wynikach pomiarów laboratoryjnych i terenowych oraz oryginalne rozwiązanie Kandydata. W wyniku czego oryginalność rozwiązania, stanowiąca potencjał przeprowadzonych badań, stanowczo został umniejszony. Moim zdaniem powinno to zostać wyodrębnione w postaci innego rozdziału.

W zależności od potrzeb w poszczególnych rozdziałach Doktorant przedstawia otrzymane wyniki w sposób tabelaryczny lub graficzny, co stanowi duży walor analizowanej rozprawy doktorskiej. Rysunki zostały przedstawione w sposób jasny i czytelny. Jednakże zachodzi niespójność w zakresie kształtów analizowanego w pracy obiektu budowlanego, przykładowo rysunki 4.26a, 4.30 i 5.12.

W przypadku cytowań kilku pozycji literaturowych są one podawane w kolejności dowolnej (np. „w pracach [101], [7], [6], [21], [74], [5], [19], [22]” na str. 21), co utrudniało weryfikację poprawności odwołań i powodowało odczucie nieuporządkowania. Ponadto kilka pozycji było cytowanych kilkakrotnie np. „[21], [21], [21]” na str. 54.

W pracy nie ustrzeżono się jednak przed błędami stylistycznymi, takimi jak np. „inny znany badacz lessów” (str. 16), „metodą badawczą są odwierty badawcze” (str. 59), „profil geotechniczny powinien być wydzieleniem warstw o podobnych właściwościach fizycznych” (str. 59), „badania laboratoryjne (...) potwierdzały dominację konsystencji zwartej w budowie podłoża” (str. 50), „posadowienie budynku za pomocą płyty fundamentowej nastąpiło na gruntach rodzimych lessowych” (str. 104), „stabilnego repera odniesienia” (str. 106), „przebieg osiadania reperów w czasie” (str. 107), „co szczególnie widać na reperach” (str. 134), czy „taką tendencję należy uznać za pozytywną, gdyż działa w stronę bezpieczną” (str. 134), czy „proces osiadania budynku zmierza ku końcowi” (str. 145). Występują także kolokwializmy takie jak np. „pomierzone wartości są dalekie od

granicznych i nie należy mieć obaw, co do bezpieczeństwa konstrukcji. Niemniej jednak wyniki pomiarów dostarczyły ciekawych danych” (str. 107). Doktorant często stosuje słowo „stworzony” w odniesieniu do modelu obliczeniowego układu budynek-podłoże gruntowe. Według recenzentki można je zastąpić alternatywnie zwrotem „zbudowany” lub „opracowany”, które są bardziej poprawne.

Ponadto w pracy występują błędy ortograficznych („po za” – str. 121), gramatyczne („w pracy Federowicza” – str. 116 i 125) i interpunkcyjne. Podane zostały dane osobowe („nadzór merytoryczny pełnił geodeta...” str. 104) oraz nazwy producentów wykorzystywanego do badań sprzętu.

6. Uwagi krytyczne i pytania recenzentki do pracy

Po zapoznaniu się z pracą doktorską pojawiają się pewne uwagi o charakterze dyskusyjnym.

6.1. Uwagi krytyczne wymagające odpowiedzi w czasie publicznej obrony

Pierwsza uwaga jest związana z budową modeli obliczeniowych układów budynek-podłoże gruntowe. W analizowanej rozprawie Kandydat omówił kilka przykładów takich układów i ich budowy, które w rzeczywistości charakteryzują się one różnymi wymiarami obiektów budowlanych różnych rodzajów (analizowane są obiekty mostowe, budynki itp.), o różnym obciążeniu. Ponadto przytoczone przykłady analiz były prowadzone w różnym celu. Zgodnie z monografią pani dr hab. inż. Lidii Federowicz, prof. WST, na którą powołuje się Kandydat, jeżeli warunki brzegowe nie są ukształtowane w sposób naturalny, to decyzja o przyjęciu miąższości obszaru numerycznego wpływa w różnym stopniu przy różnych modelach konstytutywnych gruntu na ocenę osiadań podłoża. Zjawisko to jest zależne od rodzaju zagadnienia (przestrzennego, płaskiego), wymiarów powierzchni obciążanej, wartości przekazywanego na podłoże obciążenia oraz sztywności konstrukcji. Dlatego wyjaśnienia wymaga, czym kierował się Kandydat dobierając założenia do budowy opracowywanych przez siebie modeli obliczeniowych układów budynek-podłoże gruntowe, takie jak wymiar boku siatki dyskretyzującej, wymiary obszaru numerycznego i jak zmiana tych parametrów mogłaby wpływać na wyniki przeprowadzonych analiz.

Ponadto jak założenia te zostały zachowane lub w jaki sposób Kandydat tłumaczy zmianę obszaru obliczeniowego w analizach właściwych dla tzw. modeli częściowych (rozdział 5.2.4) oraz dla modeli pełnych, dla których „przyjęto wymiar bloku gruntowego od 0,2 do 3,0 m w planie oraz 0,2 do 3,6 m na głębokości” (str. 116). Zgodnie z informacjami zawartymi w pracy wymiary budynku przy ul. Cyprysowej w Lublinie w planie wynoszą 90 x 45 m.

Druga uwaga jest związana z wynikami pomiarów osiadań budynków. Po pierwsze jaka była podstawa doboru lokalizacji reperów zastabilizowanych na poszczególnych segmentach budynku przy ul. Cyprysowej. Proszę o interpretację wyników pomiarów osiadania budynku, przedstawionych na rysunku 4.33 z uwagi na odchyłkę względem pomiaru kontrolnego wynoszącą 0,5 mm. Jak również interpretację sposobu kalibrowania modelu obliczeniowego, bazując na tych wynikach, z dokładnością do 0,1 i więcej w rozdziałach 5.2.4 i 5.2.5.

Trzecia uwaga wiąże się z zagubieniem w treści rozdziału 5 głównych osiągnięć Kandydata, które powinny stanowić pewnego rodzaju wytyczne wykorzystywania wyników

pomiarów badań terenowych (sonda statyczna i testy dylatometryczne) w budowie modelu obliczeniowego układu budynek-podłoże gruntowe. Proszę o schemat działania, jaki Kandydat opracował w ramach prowadzonych prac badawczych podczas przewodu doktorskiego. Jaka jest wyższość podziału bryły podłoża na rejony w stosunku do przyjmowania w analizach parametrów otrzymanych z interpolacji między poszczególnymi profilami geologicznymi.

Czwarta uwaga wiąże się z podaniem uzasadnienia stosowanych uproszczeń na wielkości otrzymane w analizach. Mam tutaj na myśli zmianę parametrów podłoża, zmianę podziału bryły podłoża na rejony, czy analizowano wpływ sposobu podziału na rejony na wielkości otrzymane w analizach, jak również zastosowania uproszczeń samego modelu budynku, który w chwili obecnej jest dość mocno złożony.

6.2. Pozostałe uwagi merytoryczne

Poniżej przedstawiono kilka niejasności, o których wyjaśnienie prosi się Kandydata:

Kandydat podaje, że przyjęto wymiar boku siatki dyskretyzującej dla budynku ok. 0,2 m, a dla podłoża zmienny od 0,4 w strefie kontaktu z budynkiem do 3,0 m w najgłębszych partiach podłoża. Proszę o przedstawienie wielkości boków siatki dyskretyzacyjnej i uzasadnienie zasadności przyjmowania takich wymiarów.

Proszę o uzasadnienie wyboru do analiz parametrów częstości drgań w pomiarów in situ, przedstawionych w tabeli 5.2.

Proszę o opinię, czy zdaniem Doktoranta zaobserwowane różnice w wynikach, przedstawionych w tabeli 5.16 i 5.17, można tłumaczyć koniecznością dogęszczenia siatki dyskretyzującej i/lub zmianą wielkości obszaru modelu obliczeniowego.

Proszę o doprecyzowanie, czy w analizach była przyjmowana strefa kontaktowa pomiędzy fundamentami a podłożem gruntowym i uzasadnienie wyboru. W przypadku pozytywnej odpowiedzi o podanie parametrów tej warstwy.

Proszę o podanie uzasadnienia, dlaczego w analizach modeli pełnych nie uwzględniano wykonania wykopu i nie zaleca się jego uwzględniania.

Proszę o opinię, czy zdaniem Kandydata zaproponowane rozwiązania są uniwersalne również dla innych typów podłoża gruntowego oraz podanie w jakich przypadkach Doktorant nie zaleca stosować tego proponowanego podejścia.

Proszę przedstawić, co stanowiło największe zaskoczenie w trakcie realizacji prac badawczych.

7. Ocena końcowa

Zgodnie z art. 13.1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65 poz. 595 z późn. zmianami) rozprawa doktorska powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata, a także umiejętność prowadzenia pracy naukowej. Stwierdzam, że warunki te w odniesieniu do rozprawy **mgr. inż. Krzysztofa Nepelskiego** pt. „*Numeryczne modelowanie pracy konstrukcji posadowionej na lessowym podłożu gruntowym*” zostały spełnione. W związku z tym wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Krzysztofa Nepelskiego** do publicznej obrony.

