

Olsztyn, 30 września 2023 r.

Prof. dr hab. inż. Leszek Małyszko

Katedra Mechaniki i Konstrukcji Budowlanych
Instytut Geodezji i Budownictwa Wydziału Geoinżynierii
Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie

WPŁYNEŁO
04.10.2023
542 2023

Przyjęto
04/10/2023
DZIEKAN
Wydziału Inżynierii Lądowej
prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Ewy Sobczyńskiej

*Dobór optymalnego składu zapraw glinianych
do rekonstrukcji zabytkowych obiektów kamiennych*

Promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz
Promotor pomocniczy: dr inż. Wojciech Terlikowski

1. Uwagi formalne

Rada Naukowa Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej powołała mnie na recenzenta uchwałą nr 774/2023 r. w dniu 4 lipca 2023 r. Stosowne dokumenty, w tym pismo Przewodniczącego Rady Pana dra hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. uczelni z prośbą o opracowanie recenzji oraz umowę na jej wykonanie zawartą z Wydziałem Inżynierii Lądowej, reprezentowanym przez dziekana prof. dr hab. inż. Andrzeja Garbacza, a także egzemplarz rozprawy i kopie uchwały otrzymałem 12 sierpnia. Podstawę prawną opracowania recenzji stanowią obowiązujące przepisy Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce określone art. 187.

2. Informacja o rozprawie i jej charakterystyka

Rozprawa liczy 196 stron. Składa się z dziewięciu rozdziałów, bibliografii (12 stron), streszczeń w języku polskim i angielskim (2 strony) oraz spisów ilustracji i tabel (8 stron). Bibliografia zawiera 167 publikacji, na które Doktorantka powołuje się w rozprawie. Jest podzielona na dwie części, pierwsza zawiera książki, artykuły i raporty (125 pozycji), druga normy i regulacje (37 pozycji). W części pierwszej są zarówno dokumenty i książki z zakresu rekonstrukcji i utrzymania zabytków, budownictwa i architektury, w tym traktat o architekturze autorstwa Andrea Palladio, opublikowany po raz pierwszy w 1570 roku czy włoskie tłumaczenie książki Gustawa Breymana z 19-stego wieku o murach. Są tam również sprawozdania z prac konserwatorskich promotora pomocniczego z lat 2011-2019 oraz artykuły z najnowszą wiedzą z zakresu rozprawy, głównie w języku angielskim. W części drugiej są branżowe i krajowe normy polskie, m.in. na temat budownictwa z gliny lub z użyciem zapraw

cementowo-glinianych oraz normy zagraniczne, w tym amerykańskie ASTM, niemieckie DIN oraz WTA, europejskie normy RILEM, a także normy chorwacka i meksykańska oraz inne. Zakres publikacji jest aktualny, zgodny z najnowszą wiedzą w zakresie zaprawy.

Omawiając poniżej zawartość kolejnych rozdziałów oznaczyłem pięć wniosków ogólnych (od W1 do W5), które Doktorantka zamieściła na końcu rozprawy.

W rozdziale 1 *Przedmiot i cel pracy* (4 strony), Doktorantka sformułowała cel jako **opracowanie algorytmu doboru składu zaprawy glinianej na potrzeby rekonstrukcji murów kamiennych z uwzględnieniem wskaźnika niekompatybilności (ryzyka)**, który nie jest w tym rozdziale zdefiniowany. Doktorantka przedstawiła na końcu rozdziału poglądowy schemat kolejnych kroków potrzebnych do osiągnięcia problemu badawczego, wynikającego z celu pracy, który zamierza sukcesywnie realizować. Schemat rozpoczyna się od ustalenia składu próbek zaprawy glinianej i gruntu pobranych *in situ* z oryginalnego muru i okolicznego wykopu wraz dobozem materiału zastępczego. Potem określenie proponowanych składów glinianej zaprawy naprawczej na podstawie badań laboratoryjnych, następnie stworzenie aplikacji określającej wskaźnik niekompatybilności, a w końcu testy w skali półtechnicznej na replice muru kamiennego. Zarówno opis wskaźnika niekompatybilności, jak i schemat rozwiązania problemu badawczego są przedstawione dopiero w rozdziale czwartym.

Rozdział 2 *Zabytkowe konstrukcje kamienne – zasady konserwacji, materiały, technologie* (25 stron) ma charakter popularno-naukowego omówienia zaleceń w zakresie tytułu oraz zawiera opis konstrukcji na stanowiskach archeologicznych w ramach misji konserwatorskich, w których macierzysty Zakład Budownictwa Ogólnego Wydziału Inżynierii Lądowej brał udział. Doktorantka bezpośrednio brała udział w pracach rekonstrukcyjnych murów kamiennych na zaprawie glinianej odkrytych w pobliżu starożytnego miasta Tanais nad morzem Azowskim, obecnie u ujścia rzeki Don.

Rozdział 3 *Wymagane właściwości zaprawy glinianej do rekonstrukcji* (16 stron) zawiera omówienie znormalizowanych oraz zalecanych w literaturze właściwości zapraw glinianych i cementowo-glinianych, w tym w zagranicznych normach i wytycznych oraz w archiwalnych normach krajowych. Doktorantka omówiła w tym zakresie 17 parametrów wpływających na dobór zaprawy naprawczej. Są to właściwości mechaniczne jak przyczepność, wytrzymałość na ścislenie, moduł Younga i technologiczne jak m.in. uziarnienie i konsystencja, a także parametry zapewniające odpowiednią trwałość, w tym mrozoodporność, odporność na sole, skurcz oraz kompatybilność, którą należy sprawdzać nie tylko w aspekcie historyczno-estetycznym czy mechanicznym lub chemicznym, ale także np. w bioekologicznym.

W rozdziale 4 *Program i zakres badań* (33 strony) Doktorantka przedstawiła na schemacie wymagania odnośnie rekonstrukcyjnej zaprawy glinianej wraz z zadaniami niezbędnymi do jej wykonania. Rozwinęła w tym celu schemat z rozdziału pierwszego i jasno postawiła konieczne zadania badawcze, określające m.in. wpływ dodatków na wybrane parametry, kształtujące właściwości zaprawy. W ramach przyjętej metodyki opisała sposób badania wybranych parametrów. Na końcu rozdziału Doktorantka zaproponowała na podstawie literatury metodę oceny kompatybilności (ryzyka) zastosowania zaprawy rekonstrukcyjnej. W metodzie przydatność składu zaprawy określa liczbowy wskaźnik jako ryzyko niskie przy wartości 0-3, umiarkowane dla zakresu 3-6 albo wysokie od 6 do 10. Wskaźnik ryzyka jest obliczany

z dokładnością do części dziesiętnych jako średnia kwadratowa z liczb z zakresu 0-10, oceniających aż 39 cech lub właściwości.

Rozdział 5 *Materiały zastosowane do badań* (18 stron) zawiera m.in. opis składu mineralogicznego i frakcyjnego gliny i zaprawy z wykopalisk w okolicach Tanais i Kerczu oraz wykaz 28 proponowanych bazowych składów zaprawy glinianej przeznaczonych do badań. Doktorantka zaprezentowała dyfraktogramy oryginalnych próbek gliny z wykopalisk oraz próbek zastępczych pobranych w okolicach Warszawy. Określenie składu mineralogicznego i frakcyjnego gliny umożliwi dobór zaprawy na podstawie lokalnych surowców (W1). Jego porównanie z próbkami gliny pobranej z rejonu wykopalisk i odpowiednie badania pozwala uzyskać najlepsze rozwiązanie (W2).

W **rozdziale 6** *Wyniki badań* (34 strony) Doktorantka wybrała pięć rodzajów zapraw gliniano-piaszczystych do dalszych badań weryfikacyjnych na podstawie wyznaczonych wytrzymałości na ściskanie i zginanie próbek bazowych z poprzedniego rozdziału. W dwóch zaprawach przyjęła objętościowo sześć części piasku na cztery części gliny (60% i 40%) bez albo z 15% procentowym dodatkiem cementu, a w pozostałych stosunek piasku do gliny wynosił 2/3 do 1/3 (66% i 33%) z 15% albo 25% dodatkiem cementu i różnym rodzajem piasku. Wniosek ogólny z badań wskazuje na konieczność dodatku cementu z uwagi na niewielką wytrzymałość i trwałość zaprawy bez dodatku (W3). Wybrane zaprawy Doktorantka poddała badaniom przyczepności, skurczu, mrozoodporności, odporności na działanie soli oraz na erozję wodną, nasiąkliwości, podciągania kapilarnego, porowatości, modułu Younga, a także oceniła aspekty estetyczne zapraw.

Rozdział 7 *Analiza przeprowadzonych badań* (25 stron) zawiera potrzebne do oceny wskaźnika niekompatybilności zaprawy naprawczej zasady punktacji, którą Doktorantka zaproponowała w czterech kryteriach: materiałowym, środowiskowym, realizacyjnym oraz zrównoważonego rozwoju. Następnie wyznaczyła wartości wskaźnika dla pięciu wybranych zapraw, który wynosił od 2,8 do 4,0, czyli był na pograniczu niskiego i umiarkowanego ryzyka. Na końcu rozdziału Doktorantka opisała badania replik muru z kamienia wapiennego z piaszkową zaprawą glinianą (40% i 60%) bez dodatków oraz z zaprawą (33% i 66%) z 25% dodatkiem cementu. Celem badań było m.in. sprawdzenie możliwości wykonania muru oraz ocena jego trwałości, a także oznaczenie stopnia zasolenia muru jonami azotanów, siarczanów oraz chlorków. Jako wniosek ogólny rozprawy, na materiał naprawczy zabytkowych murów kamiennych nad morzem Czarnym została wybrana zaprawa o składzie zawierającym 33% gliny i 66% piasku z 25% dodatkiem cementu CEM I 42,5 R (W5). Wskaźnik ryzyka dla zaprawy wyniósł 2,8 i był najmniejszy ze pięciu wybranych składów.

Rozdział 8 *Algorytm wyboru glinianej zaprawy rekonstrukcyjnej dla danego stanowiska archeologicznego* (2 strony) to schemat blokowy wynikający z doświadczeń opisanych poszczególnych w rozdziałach, mający na celu ułatwienie doboru zaprawy glinianej do murów kamiennych. Ułatwia on skuteczny dobór glinianej zaprawy rekonstrukcyjnej, co Doktorantka zapisała jako wniosek ogólny zaprawy (W4).

Rozdział 9 *Podsumowanie i wnioski do dalszych badań* (3 strony) zawiera poza powyżej przedstawionymi pięcioma wnioskami ogólnymi, także wnioski szczegółowe, które wynikły w trakcie badań, m.in. podczas badań przyczepności czy wpływu dodatków. Jako dalsze

zadania Doktorantka proponuje badania glin o różnym składzie mineralogicznym i zapraw na różnych spoiwach wraz z wyznaczaniem wskaźnika niekompatybilności oraz dalsze obserwacje replik murowych.

Podsumowując, należy podkreślić, że choć cel pracy nie jest zbyt obszerny, to jednak nakład pracy poniesiony przez Doktorantkę jest znaczny. Zaliczyć do niego trzeba poza analizą literatury, badania laboratoryjne piaszczystych zapraw glinianych oraz replik murów kamiennych, a nawet własne doświadczenia z misji konserwatorskich. Rozprawa jest z pogranicza budownictwa i archeologii, dotyczy istotnego problemu badawczego z zakresu materiałów budowlanych w rekonstrukcjach budowli zabytkowych.

3. Uwagi krytyczne

Podczas lektury i analizy rozprawy nasuwają się pewne pytania i uwagi o charakterze krytycznym.

(U1) Podział bibliografii na dwie części jest potrzebny, jednak moim zdaniem kolejność publikacji powinna być jednak alfabetyczna, a nie według pierwszego cytowania w teście.

(U2) Zastanawiająca jest mała liczba publikacji Doktorantki, chociaż wymóg autorstwa artykułu z listy ministerialnej jest spełniony. W trzech publikacjach Doktorantka jest w gronie współautorów, w tym raz na pierwszym miejscu, w artykule z 2021 r. pt. *Stability of Treatment from Earth-Based Mortar in Conservation of Stone Structures in Tanais, Russia* czasopisma z listy ministerialnej *Sustainability* wydawnictwa MDPI (wydanie specjalne - 100 pkt).

(U3) Układ rozprawy jest do zaakceptowania, zdarzają się jednak niepotrzebne powtórzenia. Jeśli rozprawa miałaby się stać materiałem źródłowym dla publikacji naukowych, bardziej czytelnym i mniej podatnym na powtórzenia, to należy układ zmienić. Rozdziały 2 i 3 powinny być na początku w jednym rozdziale (1) o charakterze wprowadzenia, przeglądu literatury i motywacji podjęcia badań, a dopiero po nich jako drugi rozdział pierwszy (2). Kolejne trzy rozdziały (4, 5 i 6) powinny zostać przerezegowane i połączone w jeden rozdział (3). Nowy rozdział (4) powstałby wtedy z połączenia rozdziałów 7 i 8, a ostatnim (5) rozdziałem zostałby rozdział 9.

(U4) Zaproponowana metoda oceny kompatybilności, w której uwzględnia się aż 39 cech jest moim zdaniem zbyt arbitralna i mało precyzyjna. Warto zauważyć, że wskaźnik kompatybilności pięciu zapraw podanych w tabelach 26-29, wyznaczony tylko na podstawie kryteriów materiałowych (z 12 cech zamiast 39) daje ten sam wybór zaprawy (skład 200), choć jego wartość wynosi 3,7 zamiast 2,8.

(U5) Schemat blokowy algorytmu doboru zaprawy wymaga uściślenia, bo możliwe jest jego zawieszenie w trakcie wykonania programu.

(U6) Moduł Younga zaliczamy do wymagań mechanicznych jak w tabelach wskaźnika ryzyka czy do kompatybilności jak na schemacie z rys. 23?

(U7) Kontynuacja tematyki rozprawy powinna być prowadzona w zakresie badań fragmentów całych ścian murowanych z kamienia. Powinna wtedy uwzględniać badania cech mechanicznych murów metodami nieniszczącymi wraz zastosowaniem jakościowej

metodologii MQI (*Masonry Quality Index*) i normy włoskiej (IBCC 2019). Jest w tym zakresie dość obszerna literatura, np. (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122168>).

W następnym kroku można podjąć próbę połączonych badań eksperymentalnych, numerycznych i analitycznych, czego niedosyt w rozprawie jest widoczny.

4. Ocena rozprawy

Znaczenie i aktualność podjętego problemu badawczego są dość duże i o praktycznym zastosowaniu. Świadczą o tym m.in. zagraniczne misje konserwatorskie. Badania w zakresie konstrukcji murowych, ich utrzymania i rekonstrukcji, są prowadzone na świecie od wielu lat, a w Europie przede wszystkim w krajach z dużą ich liczbą – we Włoszech, Hiszpanii, Portugalii czy Wielkiej Brytanii. Ważne w nich miejsce ma dobór zapraw rekonstrukcyjnych, chociaż główny nurt badań jest związany z zabezpieczeniem konstrukcji na oddziaływanie sejsmiczne.

Rozprawa zawiera dość obszerne badania eksperymentalne. Wnioski ogólne rozprawy mają w większości pełne pokrycie w badaniach. Cel, czyli opracowanie sposobu doboru zaprawy glinianej na potrzeby rekonstrukcji murów kamiennych jest istotny i został osiągnięty. Przyjęte metody badawcze są poprawne i zgodne z aktualnym stanem wiedzy.

Do oryginalnego rozwiązania problemu naukowego rozprawy należy zaliczyć wyniki badań doświadczalnych oraz opracowanie sposobu doboru zaprawy glinianej do murów kamiennych uwzględnieniem wskaźnika niekompatybilności.

Należy podkreślić, że rozprawa może być nie tylko materiałem źródłowym dla publikacji naukowych Doktorantki i z tego powodu jej tematyka powinna być kontynuowana. Może ona również stanowić punkt wyjścia do dalszych badań, zwłaszcza w kierunku zgodnym z uwagą siódmą (U7).

5. Podsumowanie

Rozprawa Pani mgr inż. Ewy Sobczyńskiej stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Doktoranta zaprezentowała ogólną wiedzę teoretyczną i odpowiedni warsztat naukowy, zwłaszcza w obszarze badań eksperymentalnych. Wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W moim przekonaniu rozprawa spełnia w wystarczającym stopniu wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim według obowiązującej ustawy o stopniach naukowych wraz z jej uaktualnieniami.

Wnioskuje o jej przyjęcie i dopuszczenie do obrony.

