

Prof. dr hab. inż. Lech Lichołai
Politechnika Rzeszowska
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury
Katedra Budownictwa Ogólnego
al. Powstańców Warszawy 12
35-959 Rzeszów

Rzeszów, 26-IX-2023 roku

WPLYNEŁO
05.10.2023
546 2023

Andrzej Garbacz
DZIEKAN
Wydziału Inżynierii Lądowej
prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej

Pana mgr inż. Kacpra Wasilewskiego

pt: „Ocena zastosowania materiałów z pamięcią kształtu we wzmacnianiu konstrukcji historycznych”

wykonanej pod opieką:

Promotor: prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak

Promotor pomocniczy: dr inż. Wojciech Terlikowski

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Pana dr hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. uczelni - Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 19.06.2023 r. informujące, że Rada Naukowa Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej na posiedzeniu w dniu 06.06.2023 r. powołała moją osobę na Recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Kacpra Wasilewskiego pt.: ” Ocena zastosowania materiałów z pamięcią kształtu we wzmacnianiu konstrukcji historycznych” wraz z prośbą o opracowanie recenzji.

Dołączone zostało także pismo z Uchwałą nr 714/2023 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport z dnia 06.06.2023 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Kacpra Wasilewskiego, podpisane przez Pana dr hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. uczelni - Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej oraz Pana dr hab. inż. Adama Rosińskiego, prof. uczelni - Sekretarza Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej.

2. Informacja dotycząca tytułu rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się w aktualnym postępowaniu o nadanie stopnia doktora

Tytuł przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej „Ocena zastosowania materiałów z pamięcią kształtu we wzmacnianiu konstrukcji historycznych” jest poprawnie sformułowany biorąc pod uwagę merytoryczną zawartość całego opracowania. Tytuł rozprawy w sposób jednoznaczny nakreśla problem naukowy, który Pan mgr inż. Kacper Wasilewski rozważa w kolejnych rozdziałach swojej dysertacji. Tytuł rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się w aktualnym postępowaniu o nadanie stopnia doktora jest właściwy, a jego naukowa wartość jest należycie przedstawiona w kontekście postawionych przez Doktoranta zadań badawczych.

3. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

Wykonana recenzja dotyczy rozprawy doktorskiej pt. „Ocena zastosowania materiałów z pamięcią kształtu we wzmacnianiu konstrukcji historycznych”, której Autorem jest Pan mgr inż. Kacper Wasilewski. Praca została zrealizowana pod opieką Promotora Pana prof. dr hab. inż. Artura Zbiciaka oraz Promotora pomocniczego Pana dr inż. Wojciecha Terlikowskiego. Przedmiotowa dysertacja została napisana w języku polskim. Praca zawiera Streszczenie w języku polskim oraz Abstract w języku angielskim.

Praca doktorska liczy 179 stron i składa się z ośmiu ponumerowanych rozdziałów. W porządku chronologicznym kolejnymi rozdziałami są: 1. Wstęp (str. 13), 2. Właściwości SMA (str. 19), 3. Wzmacnianie konstrukcji historycznych (str. 33), 4. Modele matematyczne i implementacje komputerowe (str. 63), 5. Sformułowanie modelu SMA z wykorzystaniem struktur reologicznych (str. 83), 6. Wyznaczanie właściwości mechanicznych na podstawie badań laboratoryjnych (str. 103), 7. Analizy numeryczne (str. 117), 8. Podsumowanie i kierunki dalszych badań (str. 137). Poszczególne rozdziały podzielone są na podrozdziały. Ponadto w pracy znajdują się rozdziały nie posiadające numeracji: Bibliografia (str. 141), Spis rysunków (str. 153), Spis tablic (str. 161), Załącznik A (str. 163), Załącznik B (str. 167), Załącznik C (str. 179).

W rozdziale pierwszym – Wstęp – zamieszczone są informacje wprowadzające do głównego problemu badawczego. Doktorant sygnalizuje ważność istnienia historycznych rozwiązań konstrukcyjnych w zachowaniu ciągłości przekazów dziedzictwa kulturowego. Równocześnie zwraca uwagę na znaczenie stosowania materiałów inteligentnych między innymi do wzmacniania i konserwacji konstrukcji

historycznych. Jednym z materiałów należącym do tej grupy są stopy z pamięcią kształtu (SMA). Rozdział ten także zawiera literaturowy przegląd wiedzy w tematyce realizowanej rozprawy doktorskiej, chociaż odniesienia do różnych pozycji literaturowych znajdują się także w kolejnych rozdziałach. Ważną częścią tego rozdziału jest zamieszczony podrozdział: Cel i zakres pracy. Sformułowany przez Pana mgr inż. Kacpra Wasilewskiego cel pracy dotyczy przedstawienia modeli konstytutywnych stopów z pamięcią kształtu przy wykorzystaniu struktur reologicznych oraz wykonanie komputerowych rozważań analitycznych do oceny ich zastosowania na potrzeby wzmacniania konstrukcji historycznych. Doktorant zaznacza, że wykonane analizy dotyczyły wzmacniania konstrukcji murowych, ze względu na powszechność stosowania tych technologii.

W rozdziale drugim – Właściwości SMA – Autor rozprawy opisuje najważniejsze właściwości stopów z pamięcią kształtu wraz z przedstawieniem charakterystycznych zjawisk związanych z tymi materiałami. Doktorant zaznacza, że stopy z pamięcią kształtu odznaczają się ważnymi właściwościami: pamięcią kształtu oraz supersprężystością. W obu przypadkach występuje zjawisko odzyskiwania pierwotnego kształtu próbki, który może nastąpić w wyniku ogrzania próbki do wysokiej temperatury, powyżej charakterystycznej temperatury lub w wyniku odciążenia próbki związanego z usunięciem obciążenia wywołującego odkształcenie. Pan mgr inż. Kacper Wasilewski zajmuje się temperaturami charakterystycznymi stopów z pamięcią kształtu, zwracając uwagę, że istnieje silne powiązanie właściwości stopów z pamięcią kształtu z temperaturą, zaznaczając, że istotnymi parametrami stopów z pamięcią kształtu są temperatury początków i końców charakterystycznych przemian fazowych. Kandydat podaje, że podstawowym badaniem stosowanym do wyznaczania tych temperatur jest skaningowa kalorymetria różnicowa, a innym badaniem jest obserwacja zachowania odkształconej próbki w trakcie jej ogrzewania. Doktorant przedstawia badanie doświadczalne dotyczące wyznaczania temperatur przemian fazowych. Kolejno Autor opisuje zjawisko efektu pamięci kształtu, jako zdolność do odzyskania pierwotnie zapamiętanego kształtu elementu, który uległ odkształceniu w niskiej temperaturze, po jego ogrzaniu do wysokiej temperatury. Przeprowadzone zostało badanie doświadczalne, obrazujące jednokierunkowy efekt pamięci kształtu, a wynik badania wskazuje na zdolność do odzyskania pierwotnego kształtu próbki. W dalszej części tego rozdziału przedstawione jest zjawisko supersprężystości, opisana jest produkcja i obróbka stopów z pamięcią kształtu wraz z wykonanym badaniem doświadczalnym. Ważną częścią tego rozdziału są przedstawione różne rodzaje stopów z pamięcią kształtu. Doktorant zaznacza, że najbardziej znanym stopem z pamięcią kształtu, biorąc pod uwagę badania jak i zastosowanie jest stop niklu i tytanu – nitinol. Na bazie tego stopu powstała grupa stopów z pamięcią kształtu odznaczająca się dużą ciągliwością, odpornością na korozję, a także ważnymi cechami dotyczącymi supersprężystości oraz związanymi z efektem pamięci kształtu. W końcowej części rozdziału Pan mgr inż. Kacper Wasilewski stwierdza, że wartym

podkreślenia są szczególne właściwości mechaniczne stopów z pamięcią kształtu w kontekście ich zastosowania w budownictwie, a zwłaszcza przy pracach dotyczących wzmacniania konstrukcji historycznych.

W rozdziale trzecim – Wzmacnianie konstrukcji historycznych – Doktorant zaznacza, że problematyka dotycząca wzmacniania konstrukcji związana jest ściśle z remontami i modernizacjami istniejących budynków. Autor zwraca uwagę na dwa pojęcia dotyczące utrzymania i odnowy obiektów zabytkowych; konserwacja i restauracja. Konserwacja dotyczy utrzymania obiektu w należyтым stanie technicznym, natomiast restauracja związana jest z przywróceniem lub poprawą stanu technicznego rozważanego obiektu. Pan mgr inż. Kacper Wasilewski stwierdza, że z uwagi na ingerencję w oryginalne rozwiązania konstrukcyjne prace związane ze wzmacnianiem należy w większości przypadków zaliczać do działań restauratorskich.

Przedstawione są najważniejsze zasady, które należy brać pod uwagę przy projektowaniu, czy też pracach naprawczych lub dotyczących wzmacniania konstrukcji obiektów historycznych. Doktorant zwraca uwagę na ważność dokumentu jakim jest podpisana w 1931 roku Karta Ateńska wskazująca na potrzebę właściwego utrzymania obiektów historycznych, tak aby unikać wykonywania przyszłych napraw lub wzmocnień. Innym ważnym dokumentem jest podpisana w 1964 roku Karta Wenecka, której zalecenia dotyczyły docenienia unikalnego charakteru każdego zabytku, a w mniejszym stopniu wskazywały na konkretne działania. Obecnie zagadnienia dotyczące naprawy i wzmacniania konstrukcji historycznych odznaczają się dużym poszanowaniem dla autentyczności rozwiązań konstrukcyjnych, a także potrzebą poznania zasad i charakteru pracy układów konstrukcyjnych. Ważnymi aspektami wartości konstrukcji budowlanych są walory architektoniczne, względy estetyczne oraz rozwiązania konkretnej technologii budowlanej zastosowanej do powstania danego działu budowlanego – związane jest to z poszanowaniem oryginalnych materiałów i rozwiązań konstrukcyjnych. Dalej Doktorant podaje, że wzmacnianie układów konstrukcyjnych można wykonywać przy wykorzystaniu dwóch metod: aktywnej lub pasywnej. W metodzie aktywnej wzmocnienia elementy wzmacniające powodują oddziaływanie na wzmacnianą konstrukcję już od momentu montażu. Przy zastosowaniu metody pasywnej wzmocnienia, elementy wzmocnienia przejmują obciążenia od konstrukcji dopiero wówczas, gdy ulegnie ona deformacji. Kolejno w tym rozdziale Pan mgr inż. Kacper Wasilewski przedstawia zagadnienia dotyczące możliwości zastosowania stopów z pamięcią kształtu do wzmacniania konstrukcji historycznych. Zwraca uwagę na zalety stosowania ściąągów z elementami supersprężystymi. W takich ściąągach procesem odpowiedzialnym za zmianę sztywności i dyssypację energii jest odwracalna przemiana fazowa, która powoduje, że po ustaniu oddziaływania elementy wzmocnienia nie są w sposób trwały odkształcone. W dalszej części Autor pracy rozważa zagadnienia wzmocnienia prostopadłego do płaszczyzny wzmacnianych elementów. Przedstawione są tutaj połączenia z wtórnym elementem konstrukcyjnym oraz połączenia oryginalnych

elementów konstrukcyjnych. Kolejno Doktorant prezentuje wzmocnienia w płaszczyźnie wzmocnianych elementów, opisując wzmocnienia smukłych konstrukcji oraz wzmocnienia ścian na ścinanie. Przedstawione w tym rozdziale liczne przykłady stosowania stopów z pamięcią kształtu jako elementów ściągów do wzmocniania konstrukcji historycznych, wyniki badań laboratoryjnych, symulacji numerycznych są potwierdzeniem ich pozytywnego wpływu na wytrzymałość konstrukcji murowych w aspektach impulsów sejsmicznych. Zjawisko supersprężystości ogranicza w kontrolowany sposób działanie zwiększonej wartości siły na układ konstrukcyjny. Po ustaniu oddziaływania sił elementy ze stopów z pamięcią kształtu powracają do swojego pierwotnego kształtu, co wpływa korzystnie na bezpieczeństwo układu konstrukcyjnego.

W rozdziale czwartym – Modelowanie matematyczne i implementacje komputerowe – Pan mgr inż. Kacper Wasilewski zajmuje się zagadnieniami modelowania matematycznego, a także numerycznych implementacji zjawisk supersprężystości oraz pamięci kształtu, które są charakterystyczne dla stopów z pamięcią kształtu. Doktorant przedstawia modele stosowane do symulacji numerycznych, przede wszystkim takie, które odpowiednie są do analiz rzeczywistych, budowlanych układów konstrukcyjnych lub ich elementów. Kandydat zamieszcza rozważania dotyczące modeli jednowymiarowych, które uwzględniają zarówno zjawisko supersprężystości jak również pamięci kształtu. Dodaje, że wiele współczesnych, jednowymiarowych, a także trójwymiarowych modeli matematycznych opisujących związki konstytutywne stopów z pamięcią kształtu, dotyczą modelu przemiany martenzytycznej, jako fenomenologicznego modelu zależnego od temperatury i uwzględniającego zmianę struktury krystalograficznej. W dalszej części tego rozdziału Doktorant przedstawia modele materiałowe stopów z pamięcią kształtu, które dostępne są w postaci komercyjnych programów umożliwiających symulacje numeryczne analizowanych układów konstrukcyjnych. Zaprezentowany jest program COMSOL Multiphysics służący do numerycznego rozwiązywania zagadnień brzegowych i brzegowo-początkowych. Zagadnienia fizyczne są tutaj zdefiniowane przy pomocy układów równań różniczkowych cząstkowych oraz zwyczajnych, a dyskretyzowane są względem zmiennych przestrzennych przy wykorzystaniu głównie metody elementów skończonych. Program zawiera wiele specjalistycznych modułów, które umożliwiają modelowanie konkretnych zagadnień inżynierskich. Moduł dotyczący modelowania nieliniowych materiałów konstrukcyjnych zawiera dwa wbudowane modele materiałów z pamięcią kształtu, które Kandydat przedstawia. W dalszej części tego rozdziału przedstawione są modele umożliwiające modelowanie stopów z pamięcią kształtu w programie SIMULA Abaqus oraz w programie ANSYS Mechanical. Doktorant prezentuje szczegółowe rozważania dotyczące właściwości tych programów. W podsumowaniu Pan mgr inż. Kacper Wasilewski zaznacza, że ważnym zadaniem przy modelowaniu stopów z pamięcią kształtu jest określenie stopnia szczegółowości modelu. Przedstawione przez Doktoranta różne modele

konstrytuwne stopów z pamięcią kształtu pozwalają na pogłębione rozważania naukowe w tym obszarze wykonywanej dysertacji doktorskiej.

W rozdziale piątym - Sformułowanie modelu stopów z pamięcią kształtu z wykorzystaniem struktur reologicznych - Pan mgr inż. Kacper Wasilewski przedstawia oryginalne struktury reologiczne, które odwzorowują charakter pracy stopów z pamięcią kształtu ze szczególnym uwzględnieniem zjawiska supersprężystości. Doktorant podaje, że na potrzeby opracowania modeli konstrytuwnych wykorzystane zostały struktury reologiczne, których parametry będą posiadały proste odwzorowanie we właściwościach materiału, które możliwe są do określenia podczas laboratoryjnych badań cech mechanicznych. Kandydat przedstawia zasadnicze elementy struktur reologicznych, dla których w wyniku dedykowanego połączenia można uzyskać modele materiału odpowiadające złożonym właściwościom stopów z pamięcią kształtu. W dalszej części Doktorant podał przykłady zastosowania modeli reologicznych rozpatrywanych w problematyce dynamicznego oddziaływania na konkretne elementy ustrojów konstrukcyjnych, które zostały wykonane lub które zostały wzmocnione stopami z pamięcią kształtu. Na potrzeby stworzenia modelu fenomenologicznego stopów z pamięcią kształtu Pan mgr inż. Kacper Wasilewski rozważał różne konfiguracje podstawowych elementów struktur reologicznych. Zostały przedstawione kolejno: materiał liniowo-sprężysty, materiał sztywno-idealnie plastyczny, materiał sztywno-idealnie sprężysty, materiał z lockingiem, materiał Kepesa. Na potrzeby przedstawienia podstawowego modelu dynamicznego posiadającego strukturę stopu z pamięcią kształtu Doktorant rozpatrzył oscylator o jednym stopniu swobody, a fenomenologiczny model stopu z pamięcią kształtu został przedstawiony graficznie w postaci czarnej skrzynki. Kolejno Pan mgr inż. Kacper Wasilewski przedstawił struktury reologiczne składające się z opisanych powyżej elementów, które modelują zachowanie stopów z pamięcią kształtu w warunkach izotermicznych i występują jako rozwinięcie czarnej skrzynki. Doktorant przedstawia równanie ruchu wspomnianego oscylatora w postaci równania różniczkowego drugiego rzędu, które Autor pracy stosuje przy opisie prezentowanych dalej struktur reologicznych, którymi są: model podstawowy, model ze wzmocnieniem w trakcie przemiany fazowej, model z lockingiem, model uwzględniający różne sztywności faz stopów z pamięcią kształtu oraz model uwzględniający zjawisko pętli wewnętrznych. Na potrzeby przedstawienia możliwości stosowania modeli stopów z pamięcią kształtu, opisanych z wykorzystaniem struktur reologicznych, Doktorant wykonał symulacje drgań dwóch przypadków; oscylator o jednym stopniu swobody odwzorowujący wspornik ze zbrojeniem ze stopów z pamięcią kształtu, który poddany został wymuszeniu harmonicznemu, a w drugim przypadku oscylator o trzech stopniach swobody, który odnosi się do trzypiętrowej ramy, która posiada ściągę ze stopów z pamięcią kształtu i poddana jest oddziaływaniu w postaci trzęsienia ziemi. Pan mgr inż. Kacper Wasilewski zaznacza w końcowej części rozdziału, że uzyskane wyniki analiz numerycznych potwierdzają poprawność sformułowania

fenomenologicznego modelu stopów z pamięcią kształtu. Rozpatrywane modele we właściwy sposób opisują makroskopowe zjawiska zachodzące w trakcie przemian fazowych, które zostały wymuszone przy pomocy odkształceń elementów konstrukcji stopów z pamięcią kształtu, dotyczy to zjawiska supersprężystości.

W rozdziale szóstym - Wyznaczanie właściwości mechanicznych na podstawie badań laboratoryjnych - Pan mgr inż. Kacper Wasilewski przedstawia wyniki badań laboratoryjnych, mających za zadanie określenie właściwości mechanicznych stopów z pamięcią kształtu, potrzebnych do zastosowania przy analizach numerycznych. Autor zaznacza, że stopy z pamięcią kształtu wykazują istotni nieliniowy związek pomiędzy naprężeniem a odkształceniem, związek ten jest również zależny od temperatury. Doktorant podaje, że wymagania normowe dotyczące stopów z pamięcią kształtu dotyczą głównie medycznych zastosowań stopów niklu i tytanu, a mechanizmy mające wpływ na cechy techniczne nie są szczegółowiej poznane i zrozumiane. Autor pracy opisuje metodykę badań, przedstawia materiał, przygotowanie próbek, prezentuje stanowisko i procedurę badawczą. Doktorant wykonał badania, wykorzystując próbki stopu niklu i tytanu w postaci drutów okrągłych o średnicy 1 mm, które były wstępnie obciążane cyklicznie, a następnie zostało przeprowadzone badanie pełne, schemat przebiegu procedury badawczej Autor pracy przedstawia graficznie na wykresie. Na potrzeby interpretacji uzyskanych wyników Pan mgr inż. Kacper Wasilewski zamieszcza wykresowe zależności naprężeń od odkształceń w badanych próbkach. Doktorant podkreśla, że otrzymane wyniki przedstawiają zjawisko supersprężystości w powiązaniu z przemianami fazowymi, które zachodzą w trakcie badań. Na podstawie uzyskanych wyników Doktorant przeprowadził kalibrację modeli materiałowych rozważanych w dysertacji, stwierdza, że porównania wyników badań doświadczalnych i numerycznych są zadawalające. Wartością tego rozdziału są zamieszczone rezultaty z przeprowadzonych badań, wraz z interpretacją otrzymanych wyników oraz opis charakterystycznych zjawisk.

Rozdział siódmy – Analizy numeryczne – zawiera symulacyjne rozważania numeryczne związane z możliwością zastosowania stopów z pamięcią kształtu na potrzeby wzmocnienia konstrukcji historycznych na przykładzie wzmocnienia konstrukcji murowej poddawanej oddziaływaniu sejsmicznemu. Doktorant dobrał parametry wzmocnienia konstrukcji z wykorzystaniem stopów z pamięcią kształtu, a także dobrał parametry tradycyjnego wzmocnienia wykorzystującego ściągi stalowe w celu porównania i oceny tych dwóch rozwiązań. Jako murowany element konstrukcyjny Autor pracy przyjął fronton, będący górnym fragmentem ściany szczytowej, wieńczącej fasadę budynku, który został zamodelowany z wykorzystaniem elementów powłokowych, wykorzystując dyskretyzację przestrzenną metody elementów skończonych. Na potrzeby symulacji Pan mgr inż. Kacper Wasilewski jako wymuszenie przyjął parametry rzeczywistego, wybranego trzęsienia ziemi, które wystąpiło w 1989 roku. W dalszej części Doktorant przedstawia szczegóły wzmocnienia rozpatrywanego układu konstrukcyjnego, w tym przyjęte kryteria

projektowe, którymi są; przemieszczenie wierzchołka konstrukcji, charakter i zakres pracy materiału, wartość siły przekazywanej przez ściągi na konstrukcję. Kolejno Autor prezentuje rozważania dotyczące analizy parametrycznej uwzględniającej założone kryteria projektowe oraz wyniki symulacji wzmocnionej konstrukcji wykorzystującej stopy z pamięcią kształtu. Ważną składową tego rozdziału są prowadzone przez Doktoranta dociekania naukowe dotyczące możliwości zastosowania wzmocnienia w postaci ściągnięć ze stopów z pamięcią kształtu w porównaniu do tradycyjnych rozwiązań, w postaci wzmocnień ściągnięciami stalowymi. Pan mgr inż. Kacper Wasilewski podkreśla, że na podstawie dokonanych analiz w niniejszej pracy doktorskiej zostało wykazane, że ściągnięcia ze stopów z pamięcią kształtu bardzo dobrze sprawdzają się we wzmocnieniach konstrukcji murowych, dzięki zjawisku supersprężystości oraz podkreśla, że projektowanie wzmocnienia historycznych układów konstrukcyjnych wymaga indywidualnego podejścia do konkretnych przypadków, poprzez uwzględnienie charakterystyki wzmacnianej konstrukcji oraz charakteru obciążenia analizowanej konstrukcji.

Rozdział ósmy - Podsumowanie i kierunki dalszych badań – zawiera końcowe rozważania dotyczące rezultatów wynikających ze zrealizowania przedmiotowej rozprawy doktorskiej, które dotyczą zabezpieczania zabytkowych konstrukcji murowych przed działaniem obciążeń sejsmicznych. Doktorant dokonał oceny zastosowania stopów z pamięcią kształtu do wzmocnień takich rozwiązań konstrukcyjnych, zaznaczając, że cel pracy został zrealizowany. Autor pracy podkreśla, że zastosowanie stopów z pamięcią kształtu do wzmacniania historycznych konstrukcji murowych jest właściwym podejściem, zabezpieczającym elementy i obiekty budowlane przed degradacją mechaniczną. Ważną częścią tego rozdziału są proponowane przez Doktoranta kierunki dalszych prac badawczych w tematyce zrealizowanej rozprawy doktorskiej. Istotnym stwierdzeniem Autora jest zwrócenie uwagi, że proponowane prace wzmacniające konstrukcję obiektów budowlanych powinny uwzględniać zachowanie oryginalnych walorów architektonicznych, jak też historycznych rozwiązań inżynierskich.

Pozostałe rozdziały o charakterze formalnym (Bibliografia, Spis rysunków, Spis tablic, Załącznik A, Załącznik B, Załącznik C) są ważnym uzupełnieniem merytorycznej zawartości przedmiotowej pracy doktorskiej i zostały właściwie opracowane.

Przedstawiony przez Pana mgr inż. Kacpra Wasilewskiego układ rozprawy doktorskiej jest poprawny, kolejność rozdziałów jest właściwa, przedstawienie zawartości poszczególnych składowych jest czytelne, całość została starannie opracowana.

4. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

Na potrzeby realizacji przedmiotowej rozprawy doktorskiej Pan mgr inż. Kacper Wasilewski skompletował i wykorzystał właściwy zestaw pozycji literaturowych.

Bibliograficzny zestaw naukowych pozycji, z których korzystał Doktorant liczy sto czterdzieści siedem pozycji. W dużej liczbie są to artykuły naukowe opublikowane w uznanych Czasopismach. Znajdują się również referaty przedstawiane podczas specjalistycznych Konferencji. Autor rozprawy korzystał także z pozycji zwartych, książkowych, a także z pozycji netograficznych. Zestawione przez Pana mgr inż. Kacpra Wasilewskiego pozycje literaturowe są w większości opublikowane w ostatnich kilkunastu latach i przedstawione w języku angielskim. Pozycje bibliograficzne, z których korzystał Doktorant są ściśle związane z merytoryczną zawartością zrealizowanej rozprawy doktorskiej oraz poprawnie opisane pod względem formalnym. Zestawiony zestaw piśmiennictwa odznacza się dużą wartością naukową. Autor wykonanej rozprawy doktorskiej w sposób należyty skorzystał z potencjału naukowego skompletowanego zestawu piśmiennictwa, w tekście przedmiotowej prac znajdują się odniesienia do odpowiednich pozycji literaturowych. Dotarcie do właściwych i potrzebnych pozycji literaturowych przez Pana mgr. Kacpra Wasilewskiego należy pozytywnie ocenić.

5. Wskazanie oraz ocena celu pracy Kandydata do stopnia doktora

Kandydat w sposób jednoznaczny określił cel pracy i wskazał potrzebę prowadzenia rozważań naukowych, zgodnie z przyjętymi założeniami. Doktorant przedstawiając cel zaznacza potrzebę sformułowania modeli konstytutywnych stopów z pamięcią kształtu przy wykorzystaniu struktur reologicznych. Kolejno Autor pracy dokonał ich wdrożenia w programach komputerowych do oceny zastosowań w historycznych ustrojach konstrukcyjnych. Doktorant podaje, że w ramach zakresu pracy dokonana analiza dotyczy wzmocnienia konstrukcji murowych, z uwagi na powszechność zachowania tych historycznych rozwiązań konstrukcyjnych do czasów współczesnych. Kierując się przedstawionym celem pracy, Pan mgr inż. Kacper Wasilewski w sposób poprawny i uporządkowany prowadził rozważania naukowe w kolejnych rozdziałach wykonanej dysertacji doktorskiej. Zgodnie z celem i zakresem rozprawy doktorskiej Doktorant realizował swoje naukowe prace przy pomocy dociekań teoretycznych, symulacji numerycznych czy też laboratoryjnych badań doświadczalnych. Ważne są wartości poznawcze i użytkowe wykonanej pracy doktorskiej, które wynikają z określonego celu przedmiotowej rozprawy. Rozważane przez Doktoranta wzmocnienia konstrukcji przy wykorzystaniu stopów z pamięcią kształtu zasługują na uwagę przy pracach remontowych, modernizacyjnych w obiektach historycznych. Biorąc pod uwagę wartość naukową zrealizowanej rozprawy doktorskiej wskazanie oraz ocena celu pracy Kandydata do stopnia doktora jest pozytywna.

6. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

Kandydat po określeniu celu i zakresu pracy zaproponował odpowiednie metody badawcze, adekwatne do naukowych rozważań prowadzonych w niniejszej rozprawie doktorskiej. Na wstępie Autor zapoznał się ze stanem wiedzy w tematyce realizowanej pracy. Zestawione źródła literaturowe, ich zawartość, to wnikliwa podstawa do prowadzenia kolejnych etapów pracy. Doktorant, w różnych rozdziałach pracy, w sposób właściwy i potrzebny odwołuje się do zestawionych pozycji literaturowych, co świadczy o dbałości o merytoryczny poziom rozprawy w kontekście odniesienia własnych, prowadzonych, przedmiotowych prac naukowych, do wykonanych wcześniej i opublikowanych wyników przez innych badaczy. Kolejno Pan mgr inż. Kacper Wasilewski prowadził rozważania teoretyczne, dotyczące między innymi potrzeby dbania o konstrukcyjne ustroje historyczne w kontekście zachowania dziedzictwa kulturowego w obszarze rozwiązań architektoniczno-budowlanych. W dalszych etapach dokładnie przedstawiane są zagadnienie dotyczące możliwości stosowania stopów z pamięcią kształtu, podane są parametry charakterystyczne mające wpływ na aplikacyjne rozwiązania w konkretnych rozwiązaniach konstrukcyjnych. Bardzo ważną częścią rozprawy są właściwie prowadzone analizy numeryczne, które ukierunkowały Doktoranta do formułowania i przedstawienia wniosków podsumowujących. Pan mgr inż. Kacper Wasilewski zaznacza w pracy, że przedstawione wyniki z przeprowadzonych analiz numerycznych świadczą o poprawności sformułowania fenomenologicznego modelu stopów z pamięcią kształtu. Istotną częścią pracy są wykonane badania laboratoryjne, które dotyczyły wyznaczeniu wybranych właściwości mechanicznych stopów z pamięcią kształtu; moduły Younga dla dwóch faz: martenzytu i austenitu oraz poziomów naprężeń odpowiadających przemianom fazowym. Ponadto w badaniu rozciągania próbki ze stopu niklu i tytanu o właściwościach supersprężystych Doktorant określił dodatkowe właściwości związane z wartościami naprężeń w kontekście odkształceń próbek. Badania zostały wykonane przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej. Należy stwierdzić, że Pan mgr inż. Kacper Wasilewski zastosował właściwe metody badawcze do realizacji naukowych zadań prowadzonych w kolejnych etapach dociekań naukowych.

7. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Pan mgr inż. Kacper Wasilewski realizując przedmiotową rozprawę doktorską uzyskał wiele wartościowych i oryginalnych wyników, będących konsekwencją prowadzonych badań, które realizowane były zgodnie z celem i zakresem pracy doktorskiej. Zwraca uwagę fakt, że poszczególne części dysertacji kończą się podrozdziałami zawierającymi informacje podsumowujące kolejne etapy pracy naukowej, jest to ważne w kontekście formalnego i merytorycznego porządku

prowadzonych przez Doktoranta dociekań naukowych. Autor dysertacji, na każdym etapie prowadzonych prac uzyskiwał określone wyniki, które omawiał i komentował. Wielce ważne są wyniki uzyskane z rozważań dotyczących zastosowania stopów z pamięcią kształtu we wzmacnianiu konstrukcji historycznych, w tym dotyczące możliwości zabezpieczeń zabytkowych, murowych rozwiązań konstrukcyjnych przed wpływami oddziaływań sejsmicznych. W ramach omówienia wyników badań Doktorant podkreśla zalety wzmocnień z wykorzystaniem stopów z pamięcią kształtu, stwierdzając, że ma to związek ze zjawiskiem supersprężystości. Zjawisko to umożliwia, w pewnym stopniu, kontrolowanie przemieszczenia, co powoduje zmniejszeniem sztywności wzmocnienia i obniżeniem wartości przekazywanej na ścianę obiektu historycznego siły skupionej. Ponadto Doktorant wskazuje, że wzmocnienia układów konstrukcyjnych przy wykorzystaniu stopów z pamięcią kształtu powodują poprawienie zjawiska tłumienia drgań. Ważne stwierdzenia zawarte w pracy dotyczą zagadnień poprawy przenoszenia obciążeń przez zabytkowe ustroje konstrukcyjne przy zachowaniu ich historycznego charakteru. Zdaniem Doktoranta zastosowanie stopów z pamięcią kształtu w obiektach historycznych jest zgodne ze współczesną doktryną konserwatorską. Należy stwierdzić, że uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań w ramach zrealizowanej rozprawy doktorskiej, które są ważne i wartościowe w obszarze naukowym wchodzącym w skład Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport zostały prawidłowo omówione.

8. Informacja dotycząca praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Zagadnienia dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań przeprowadzonych przez Pana mgr inż. Kacpra Wasilewskiego są ważne i posiadają potencjał wdrożeniowy. Tematyka prowadzonych badań wpisuje się w innowacyjne zagadnienia mogące znaleźć zastosowanie w licznych rozwiązaniach konstrukcyjnych obiektów historycznych. Doktorant zaznacza, że zastosowanie stopów z pamięcią kształtu w inżynierii lądowej ma związek z dążeniem do lepszej odporności na klęski żywiołowe, w szczególności mając na uwadze trzęsienia ziemi, a stosowanie nowoczesnych inteligentnych materiałów w połączeniu z zaawansowanymi narzędziami obliczeniowymi stwarza projektantom i wykonawcom duże możliwości realizacyjne. W tym kontekście Pan mgr inż. Kacper Wasilewski podkreśla, że dla oceny zastosowania stopów z pamięcią kształtu na potrzeby wzmacniania historycznego układu konstrukcyjnego ważne jest prawidłowe dobranie parametrów wzmocnienia, tak aby spełnione były przyjęte kryteria projektowe związane z bezpieczeństwem konstrukcji, w pracy określone jako dopuszczalne przemieszczenie w trakcie trzęsienia ziemi. W ramach kryteriów projektowych ważna jest charakterystyka modelu materiałowego wraz z jego ograniczeniami, a także istotna jest charakterystyka historyczna danego konstrukcyjnego rozwiązania

w obiekcie budowlanym. Autor równocześnie wyraźnie zaznacza, że w przypadku obiektów zabytkowych możliwości nowoczesnych technologii powinny uwzględniać dbałość o zachowanie architektoniczno-konstrukcyjnego dziedzictwa historycznego. Prowadzone w pracy rozważania naukowe wraz z spostrzeżeniami podsumowującymi przedstawionymi przez Pana mgr inż. Kacpra Wasilewskiego wskazują na możliwości praktycznego zastosowania uzyskanych w rozprawie doktorskiej wyników badań. Dodatkowo Doktorant przedstawia propozycje przyszłych badań, które również mogą przyczynić się do rozwoju naukowego podejścia w kontekście praktycznego zastosowania uzyskanych kolejnych wyników badań.

9. Informacje o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej

Zrealizowana przez Pana mgr inż. Kacpra Wasilewskiego rozprawa doktorska jest właściwie przygotowanym i wartościowym z merytorycznego punktu widzenia opracowaniem naukowym. Praca jest starannie opracowana pod względem edycyjnym i formalnym. Po szczegółowym zapoznaniu się z przedmiotową pracą doktorską nasuwają się pewne uwagi - pytania o charakterze krytyczno-dyskusyjnym:

- warto, aby w wykonanej rozprawie znajdowało się zestawienie (wykaz) ważniejszych oznaczeń, symboli, skrótów stosowanych w pracy,

- w dysertacji brak jest jasno sformułowanej tezy pracy (choć np. na str. 62 znajduje się zdanie: *„Dzięki zjawisku supersprężystości możliwe jest ograniczenie, w kontrolowany sposób, siły przekazywanej na konstrukcję”*, które posiada charakter tezy, oczywiście w przedmiotowej pracy zakres jest większy niż w cytowanym zdaniu),

- przeprowadzone w pracy rozważania naukowe dotyczą przede wszystkim wzmocnienia konstrukcji murowych (np. Doktorant pisze o tym na str. 16), jakie jest zdanie Doktoranta na temat możliwości stosowania opisanego w pracy sposobu wzmocnienia innych materiałowo-technologicznych rozwiązań konstrukcyjnych, czy jest to zasadne ?

- czy analiza statystyczna z uzyskanych liczbowych rezultatów w ramach prowadzonych rozważań naukowych była wykonywana ? czy warto wykonywać taką analizę przy pracach naukowo-badawczych dotyczących tematyki wykonanej rozprawy doktorskiej ?

- czy proponowane wzmocnienia mogą powodować niepożądane ingerencje w architekturę obiektu (kształt, funkcję) ? jak unikać takich ingerencji ?

- na str. 137 Doktorant napisał, że *„W pracy skupiono się na zabezpieczeniach zabytkowych konstrukcji murowych przed wpływami oddziaływań sejsmicznych”* – jakie jest zdanie Doktoranta w kontekście rozważanego w pracy zabezpieczenia konstrukcji historycznych przy wystąpieniu innych oddziaływań na konstrukcję obiektu, np. procesy niszczenia konstrukcji na skutek wpływów atmosferycznych, czy też potrzeba zwiększenia nośności konstrukcji ze względów użytkowych ... ?

- na str. 29 jest napisane „*Pomimo swoich wyjątkowych właściwości przemysłowe zastosowanie stopów jest w znacznym stopniu ograniczone ze względu na wysokie koszty produkcji i obróbki wynikające z konieczności zastosowania skomplikowanych procesów i narzędzi.*” - proszę o komentarz, czy Doktorant widzi możliwości zmniejszenia lub zniwelowania tych ograniczeń ? w jakim kierunku powinny być prowadzone prace ?

10. Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Rozprawa doktorska, którą wykonał Pan mgr inż. Kacper Wasilewski wpisuje się w naukowe rozważania dotyczące możliwości stosowania innowacyjnych technologii w inżynierii lądowej. W sposób bardzo przemyślany zostały przedstawione zagadnienia nowoczesnych technologii w kontekście utrzymania i wzmacniania stanu technicznego historycznych rozwiązań konstrukcyjnych w obiektach budowlanych.

Jako istotne, oryginalne zagadnienia dotyczące rozwiązania problemu naukowego można wymienić:

- przeanalizowanie stanu wiedzy w obszarze materiałów inteligentnych, w szczególności w kontekście problematyki wzmacniania i zabezpieczania konstrukcji historycznych,

- przedstawienie najważniejszych zasad, które należy uwzględniać przy wyborze sposobów naprawy lub wzmacniania rozwiązań konstrukcyjnych obiektów historycznych,

- modelowanie zjawiska supersprężystości, które jest charakterystyczne dla stopów z pamięcią kształtu przy wykorzystaniu struktur reologicznych,

- zaproponowanie autorskiej modyfikacji powyższych rozważań, która umożliwi uwzględnienie różnych sztywności poszczególnych faz krystalicznych,

- opisanie procedury, która umożliwi określenie parametrów elementów struktur reologicznych modelujących stopy z pamięcią kształtu,

- zorganizowanie stanowiska badawczego i wykonanie badań laboratoryjnych, które umożliwiają określanie cech mechanicznych stopów z pamięcią kształtu,

- wykonanie porównawczych rozważań analitycznych dotyczących przykładowego zastosowania stopów z pamięcią kształtu we wzmacnieniu konstrukcji historycznych,

- zaproponowanie kierunków dalszych badań naukowych mogących przyczynić się do uzyskania dalszych wartości poznawczych i aplikacyjnych.

Rozprawa doktorska, którą zrealizował Pan mgr inż. Kacper Wasilewski stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorant wniósł wkład naukowy do Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. W sposób oryginalny został rozwiązany, rozważany w poszczególnych składowych dysertacji problem naukowy, ponadto należy podkreślić, że Doktorant prawidłowo prowadził prace

badawcze, biorąc pod uwagę przyjęte założenia, które zainicjowały merytoryczną wartość rozprawy doktorskiej.

11. Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata do stopnia doktora w dyscyplinie Inżynieria lądowa, geodezja i transport oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Po szczegółowym zapoznaniu się z treścią rozprawy doktorskiej wykonanej przez Pana mgr inż. Kacpra Wasilewskiego, stwierdzam, że wykonana dysertacja prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata do stopnia doktora w dyscyplinie Inżynieria lądowa, geodezja i transport. Autor wykonanej pracy zajął się zagadnieniami naukowymi ściśle związanymi z wiedzą teoretyczną. Taka wiedza jest niezbędną potrzebna do prowadzenia rozważań naukowych w tematyce stosowania innowacyjnych technologii w obiektach inżynierii lądowej. Doktorant wykonując szczegółowy przegląd stanu wiedzy w tematyce rozważań doktorskich rozszerzył wiedzę teoretyczną do prowadzenia merytorycznych rozważań naukowo-badawczych prezentowanych w kolejnych rozdziałach wykonanej dysertacji. Wykonane liczne rozważania naukowe, a także zrealizowane analizy i symulacje numeryczne świadczą o odpowiedniej, teoretycznej wiedzy Kandydata. Na podstawie oceny wartości naukowej wykonanej dysertacji doktorskiej można stwierdzić, że Pan mgr inż. Kacper Wasilewski wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w dyscyplinie Inżynieria lądowa, geodezja i transport.

12. Podsumowanie

Pan mgr inż. Kacper Wasilewski w zrealizowanej rozprawie doktorskiej pt: „Ocena zastosowania materiałów z pamięcią kształtu we wzmacnianiu konstrukcji historycznych”, wykonanej pod opieką naukową Pana Promotora prof. dr hab. inż. Artura Zbiciaka oraz Pana Promotora pomocniczego dr inż. Wojciecha Terlikowskiego, zajął się ważną tematyką naukową dotyczącą możliwości stosowania innowacyjnych technologii w inżynierii lądowej. Wykonana przez Pana mgr inż. Kacpra Wasilewskiego praca doktorska wnosi nowe wartości naukowe do problematyki wzmacniania i zabezpieczania konstrukcyjnego obiektów historycznych przy zastosowaniu stopów z pamięcią kształtu w dyscyplinie naukowej Inżynieria lądowa, geodezja i transport. Zamieszczone w pracy wyniki, które Doktorant uzyskał podczas prowadzonych badań pozwalają na stwierdzenie, że określone w prac cele badawcze zostały osiągnięte. Wykonana przez Pana mgr inż. Kacpra Wasilewskiego dysertacja doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego oraz posiada duże wartości w zakresie zastosowania otrzymanych wyników badań naukowych w sferze gospodarczej. Zamieszczone w recenzji dyskusyjne uwagi krytyczne nie pomniejszają merytorycznej zawartości wykonanej pracy doktorskiej.

13. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji przedmiotowa rozprawa doktorska pt: „Ocena zastosowania materiałów z pamięcią kształtu we wzmacnianiu konstrukcji historycznych”, wykonana przez Pana mgr inż. Kacpra Wasilewskiego, pod opieką naukową Pana Promotora prof. dr hab. inż. Artura Zbiciaka oraz Pana Promotora pomocniczego dr inż. Wojciecha Terlikowskiego, spełnia wymagania określone w art. 186 ust. 1 pkt 5 oraz w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 roku poz. 478 ze zm.) oraz spełnia wymagania określone w art. 13 ust.1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789, z późn. zm.).

W związku z powyższym przedstawiam pozytywną konkluzję i uprzejmie wnoszę o przyjęcie przedmiotowej rozprawy doktorskiej oraz wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie Pana mgr inż. Kacpra Wasilewskiego do kolejnych etapów przewodu doktorskiego - Ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 roku poz. 478 ze zm.) art. 191.1.

Równocześnie zgłaszam wniosek o wyróżnienie wykonanej pracy doktorskiej. Uzasadnieniem wniosku jest wysoka wartość naukowa zrealizowanej rozprawy. Autor pracy w sposób bardzo rzetelny przedstawił stan wiedzy w tematyce zrealizowanej rozprawy, wykazał się umiejętnościami prowadzenia teoretycznych rozważań naukowych, w tym dotyczących wykorzystania metod numerycznych do analizy problemów naukowych. Ponadto praca posiada wartości aplikacyjne w kontekście połączenia nowoczesnych, innowacyjnych technologii budowlanych do wzmacniania i zabezpieczania historycznych obiektów budowlanych.



