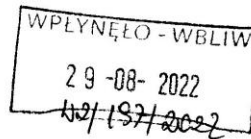


dr hab. inż. Andrzej Marynowicz, prof. uczelni
Politechnika Opolska
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Fizyki Materiałów
Katowicka 48, 45-061 Opole
tel.: 77 449 85 51
e-mail: a.marvnowicz@po.edu.pl

Opole, 23.08.2022 r.



RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Noszczyka
pt. „Lokalizacja wtrąceń materiałowych w wybranych przegrodach
budowlanych za pomocą termografii aktywnej”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę formalną niniejszej opinii stanowi pismo z dnia 04.05.2022 r. (l.dz. W2/611/2022) skierowane do mnie przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Wrocławskiej Profesora dra hab. inż. Wojciecha Pułę, z informacją o powołaniu mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Noszczyka, zatytułowanej „Lokalizacja wtrąceń materiałowych w wybranych przegrodach budowlanych za pomocą termografii aktywnej”. Do pisma załączono kopię pracy, druk umowy i wymagane załączniki. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Henryk Nowak.

2. Tematyka i układ rozprawy

W ramach pracy doktorskiej Autor sformułował kilka celów naukowych, skoncentrowanych wokół określenia wpływu:

- czasu trwania pobudzenia cieplnego i jego mocy,
- usytuowania źródła tego pobudzenia względem badanego elementu,
- wzajemnego usytuowania badanego obiektu, kamery termowizyjnej i źródła pobudzenia,

na możliwość lokalizacji wtrąceń materiałowych w masywnych elementach budowlanych w ujęciu jakościowym oraz ilościowym z wykorzystaniem nieniszczących badań przy użyciu termografii aktywnej.

W opiniowanej pracy Autor wyróżnił dwa zasadnicze problemy do rozwiązania, związane z lokalizacją:

1. Wtrąceń materiałowych wewnątrz lekkich przegród budowlanych wraz z wyznaczeniem ich wymiarów geometrycznych i głębokości zalegania pod badaną powierzchnią.

2. Wtrącenia materiałowego w postaci stalowego zbrojenia masywnego elementu żelbetowego (słupa) wraz z określeniem ich wymiarów geometrycznych i głębokości zalegania pod powierzchnią otuliny.

Do rozwiązania tak sformułowanych problemów naukowych doktorant wykorzystał rozbudowane, autorskie stanowiska pomiarowe, wysokiej jakości dodatkowy sprzęt pomiarowy (w tym rejestratory temperatury i kamery termowizyjne) oraz autorskie procedury obliczeniowe. Wykonał również weryfikacyjne badania terenowe, potwierdzające aplikacyjność

poruszanego w rozprawie tematu, wskazując przy tym na ograniczenia omawianej metody do prowadzenia badań in-situ.

Na potrzeby realizacji pomiarów Autor zaprojektował i wykonał stanowiska badawcze wszystkich zaproponowanych konfiguracji układu pomiarowego. W efekcie otrzymał czasowe rozkłady temperatury powierzchniowej, które pozwoliły na oszacowanie poszukiwanych wielkości geometrycznych: głębokości osadzenia oraz rozmiarów wtrąceń.

Rozprawa doktorska liczy 222 strony (z bibliografią, streszczeniami i załącznikami). Składa się kolejno z następujących części: spisu treści i wykazu oznaczeń, 8-u rozdziałów oraz bibliografii zawierającej 203 pozycje (w tym 3 normatywy).

W rozdziałach pierwszym, drugim i trzecim Autor wprowadza w tematykę pracy i formułuje tezy rozprawy. W rozdziałach tych Autor podał nie tylko motywację podjęcia tematu i zakres pracy, ale przede wszystkim zrealizował bardzo wnikliwą analizę istniejącej literatury tematu, łącznie z interesującą statystyką publikacji w poszczególnych rejonach świata, a szczególnie w Polsce. Na tle tej analizy, doktorant jasno i precyzyjnie wskazał obszary, które jego zdaniem nie są dostatecznie lub w ogóle zbadane. Wnioski Autora są w tej części słuszne, rzeczywiście tematyka badań termograficznych wielkowymiarowych elementów budowlanych jest stosunkowo mało zbadana, warta poruszenia, a jak pokazuje dalsza część pracy, mając dobrze opracowany warsztat badawczy otwierają się w tym zakresie przed doktorantem rozległe obszary badawcze.

W rozdziale czwartym Autor przybliżył podstawowe zagadnienia związane z opisem i analizą zjawisk cieplnych, a także klarownie naświetlił problemy towarzyszące pomiarom termowizyjnym. Autor słusznie podsumowuje ten rozdział wskazując, że podejmując się badań termowizyjnych należy wziąć pod uwagę fakt interdyscyplinarności tej dziedziny nauki, obejmującej m.in. zaawansowaną analizę obrazów (w obrębie DSP i DIP), materiałoznawstwo, fizykę budowli (w tym termodynamikę zjawisk cieplnych), a przypadku badań terenowych również znajomość technologii budownictwa czy też zagadnień konserwacji zabytków.

W rozdziałach piątym i szóstym doktorant przedstawił problem badawczy oraz zaproponował metodykę zaplanowanych badań. Rozdziały te zajmują dużą część, bo ok. 30 % rozprawy. Autor bardzo szczegółowo przedstawił w nich nie tylko program badań, ale przede wszystkim wybrane wyniki pomiarów w każdym z wariantów stanowisk pomiarowych, jak również wyniki pomiarów terenowych.

Rozwiązaniu problemu badawczego doktorant poświęcił rozdział 7, w którym zaproponował autorską metodę analizy profilu temperatury do oszacowania szerokości defektu, jak również wykorzystał metodę *Echo Defect Shape*, zaczerpniętą z literatury, do oszacowania głębokości zalegania defektu, przy czym występujący w niej kontrast bieżący Autor zmodyfikował tak, aby lepiej odpowiadał warunkom pomiaru badanych elementów masywnych za pomocą długiego impulsu. Wyniki obliczeń Autor wykorzystał do wykonania kluczowego w pracy zestawienia szacowanych głębokości zalegania defektów i ich wymiarów, co z kolei pozwoliło mu na sformułowanie cennych spostrzeżeń odnośnie wpływu na otrzymane wyniki kluczowych parametrów pomiaru, takich jak czas i moc nagrzewu, odległości jego źródła od próbki oraz rodzaju materiału bazowego. Autor sformułował również kilka istotnych ograniczeń metody długo-impulsowej oraz wskazówki, co do zakresu jej stosowalności.

Pracę podsumowuje rozdział 8, w którym doktorant przedstawił wnioski ogólne i szczegółowe z przeprowadzonych badań, jak również zestawił zrealizowane efekty poznawcze w odniesieniu do listy problemów sformułowanej w rozdziale drugim. Pracę kończą propozycje kierunków dalszych badań oraz dwa załączniki z wynikami aproksymacji termogramów.

W podsumowaniu niniejszego punktu stwierdzam, że układ rozprawy jest prawidłowy (kolejność rozdziałów i omawianych zagadnień, kompozycja – z wyjątkiem rozdziału 5 i 6,

umiejscowienie rysunków i tablic). Strona graficzna pracy została przygotowana bardzo starannie, a poruszana problematyka jest przedstawiona w sposób zrozumiały. Liczba cytowanych pozycji literatury jest wystarczająco duża, co wskazuje na realizację przez Autora szerokich studiów literaturowych, czego dowiódł opracowując rozdział drugi. Do uwag krytycznych odnoś się w dalszej części recenzji.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Ocena doboru tematu i celów badawczych

Wybór tematyki rozprawy i postawionych w niej celów badawczych oceniam zdecydowanie pozytywnie. Poruszony temat jest aktualny i ciekawy naukowo, z potencjałem wykorzystania nabytej przez doktoranta wiedzy do dalszej pracy naukowej. Tezy pracy zostały jasno sformułowane, a cele badawcze właściwie uporządkowane. Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością interdyscyplinarnego warsztatu badawczego, począwszy od zbudowania stanowisk pomiarowych, a kończąc na wnikliwej analizie uzyskanych wyników. Na uznanie zasługuje fakt podjęcia przez doktoranta niełatwej i rzadkiej w polskich realiach tematyki badań termowizyjnych w obszarze diagnostyki masywnych komponentów budowlanych.

3.2. Ocena wartości naukowej

Zdaniem recenzenta omówiona w dysertacji problematyka oraz zrealizowane w tym zakresie badania eksperymentalne i dogłębna analiza wyników pozwoliły Autorowi osiągnąć oryginalne wyniki rozwiązania problemów naukowych sformułowanych na początku pracy. Dzięki temu rozprawa spełnia ustawowe wymogi stawiane pracom doktorskim.

Do zasadniczych wyników tych zaliczyć należy ustalenie, iż:

- 1) Jest możliwość lokalizacji wtrąceń materiałowych z użyciem termowizji aktywnej w relatywnie dużych elementach budowlanych, z długimi czasami rejestracji obrazu.
- 2) Na kontrasty termiczne w modelach lekkich przegród budowlanych ma wpływ czas nagrzewu i odległość źródła ciepła od badanego elementu,
- 3) Dostarczona moc cieplna ma istotny wpływ na lokalizację defektów podpowierzchniowych,
- 4) Możliwa jest jednoczesna detekcja wtrąceń o różnych parametrach cieplnych oraz analiza ilościowa głębokości i szerokości tych wtrąceń materiałowych w pełnowymiarowych przegrodach budowlanych,
- 5) Wykonanie badań in-situ obarczone jest większymi błędami, a samo przeprowadzenie eksperymentu nie zawsze może być możliwe ze względu np. na ograniczenia konserwatorskie w przypadku obiektów zabytkowych.

Zawartość rozprawy (streszczona w p. 2 recenzji) pozwala recenzentowi stwierdzić, że doktorant posiada szeroką wiedzę teoretyczną i praktyczną, wymaganą na poziomie pracy doktorskiej w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport. Ponadto, sposób przygotowania i realizacji programu badań w kontekście postawionego celu badawczego świadczy o zdobyciu przez Niego dużych umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

4. Uwagi krytyczne i ogólne

Jakość recenzowanej pracy jest na wysokim poziomie merytorycznym i redakcyjnym. Żaden z elementów pracy nie psuje jej odbioru, a ponadto można w niej znaleźć wiele walorów poznawczych, mogących znaleźć zastosowanie w pracy badawczej nie tylko Autora rozprawy.

Poniżej przedstawię uwagi merytoryczne do recenzowanej rozprawy.

- a. Str. 52, wzór 4.14: w definicji emisyjności mówimy o relacji gęstości powierzchniowej mocy ciała rzeczywistego do gęstości powierzchniowej mocy ciała doskonale czarnego, a obie te wielkości mają wymiar $[W/m^2]$, a nie są bezwymiarowe (por. [150] str. 18 i 29).
- b. Str. 64: należy być bardzo ostrożnym, jeśli chodzi o cytowanie (składiną pożytecznej) Wikipedii. W rozprawie doktorskiej powinno się cytować trwałe i sprawdzone źródła informacji.
- c. Str. 72: O jakie „węzły siatki MESH” chodzi Autorowi? Podrozdział ma charakter ogólny, a wzmianka o siatkowaniu jest nieco wyrwana z kontekstu.
- d. Jak został uwzględniony problem samonagrzewu matrycy przy długich pomiarach? Jak często był realizowany reset matrycy (NUC)?
- e. Str. 117, rys. 6.32: jak można wytłumaczyć spadek temperatury w czasie $t > 35$ min? Podobnie na stronie 124 rys. 6.39.
- f. Str. 140: brak wyjaśnienia symboli L1, L2, L3 na rys. 6.55f.
- g. Str. 166, p.9: na jakiej podstawie Autor przyjął taki sposób oszacowania szerokości wtrącenia? Czy stoi za tym np. jakaś sprawdzona korelacja czy intuicja?
- h. Str. 186, tab. 7.2: warto było wykonać wykresy ilustrujące otrzymane wyniki. Poprawiłoby to odbiór całości.

Uwagi redakcyjne uznaję za pomijalnie małe, poza niepotrzebnym rozdzieleniem rozdziału 5 i 6.

Uwaga ogólna: szkoda, że Autor rozprawy nie poruszył tematu błędu samej metody. Termowizyjny pomiar temperatury bezwzględnej nie należy do szczególnie dokładnych, jego walory uwidaczniają się dopiero przy pomiarach różnicowych.

5. Wnioski końcowe

W swojej rozprawie doktorskiej mgr inż. Paweł Noszczyk przedstawił rezultaty obszernego zakresu badań laboratoryjnych i jednego polowego. Na potrzeby realizacji celów naukowych przygotował kilka konfiguracji stanowiska pomiarowego, a także opracował wyniki wg autorskiego pomysłu. Otrzymane wyniki są dużym osiągnięciem naukowym i praktycznym doktoranta. Warto podkreślić, że przedstawione badania stanowią solidną bazę do dalszego rozwoju tematyki, na co doktorant również zwrócił uwagę w podsumowaniu. Stwierdzam więc, że uzyskane w pracy badawczej doświadczenie otwiera przed Nim drogę do twórczej pracy naukowej w przyszłości.

Na podstawie analizy treści przedłożonej do opinii dysertacji mogę stwierdzić, że nakreślony w niej cel naukowy został osiągnięty na poziomie wymagań, które stawia się rozprawom doktorskim i stanowi wkład do dyscypliny inżynieria lądowa i transport. Autor pracy wykazał się przede wszystkim umiejętnością samodzielnego planowania i prowadzenia

badań naukowych, a uwagi wymienione w punkcie 4 mają charakter dyskusji lub konstruktywnych sugestii i nie wpływają negatywnie na ocenę uzyskanych wyników.

W podsumowaniu stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Pawła Noszczyka spełnia wymagania, o których mowa w „Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14.03.2003 r. z późniejszymi zmianami i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Ponadto, oceniając całościowo zaprezentowany, ważny z naukowego i praktycznego punktu widzenia temat, oraz rozwinięty warsztat badawczy doktoranta, a także staranność w opracowaniu rozprawy i wymogi formalne określone w uchwale nr 56/11/RDND06/2021-2024 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Wrocławskiej z dnia 29.06.2021, wnioskuję o jej wyróżnienie.

Audry Marynowicz
Opole, 23.08.2022r.