Prof. dr hab. inż. Leonard RUNKIEWICZ
INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ
POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Warszawa, dnia 20.01.2022

RECENZJA

dorobku naukowego, dydaktycznego i zawodowego oraz monografii będącej podstawą do wszczęcia przewodu habilitacyjnego dra inż. Pawła Krausego

1. Podstawa opracowania

Recenzję niniejszą opracowano na podstawie Uchwały Rady Dyscypliny Inżynierii Lądowej i Transportu Politechniki Śląskiej z dnia 25.11.2021 r. powołująca mnie na recenzenta w przewodzie habilitacyjnym dra inż. Pawła Krausego pt. „Analiza imperfekcji cieplnych systemów ETICS z uwzględnieniem konwekcji wewnątrz ściany".

Recenzję opracowano na podstawie dokumentów załączonych do uchwały (pisma) oraz mojej znajomości działalności naukowej dra Pawła Krausego. Objętość dokumentów wynosi ok. 1000 stron.

2. Podstawowe dane osobowe

Paweł Krause urodził się [redacted] w Mikołowie. W 2001 r. ukończył z wynikiem bardzo dobrym studia na Politechnice Śląskiej uzyskując dyplom magistra inżyniera budownictwa lądowego. Od 2001 roku Kandydat pracuje na **Politechnice Śląskiej**, kolejno na stanowisku doktoranta i asystenta, a od 2005 roku na stanowisku adiunkta.

W dniu **13.07.2005** roku **Paweł Krause** uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych na podstawie rozprawy doktorskiej pt.: „Wpływ oporu cieplnego osłony termoizolacyjnej na warunki dojrzewania betonu w niskich temperaturach otoczenia" obronionej na **Politechnice Śląskiej**. Promotorem pracy doktorskiej był prof. Janusz Szwabowski a recenzentami prof. Piotr Klemm i dr hab. Jerzy Skrzypczyk, prof. Pol. Śl.

W celu dokształcenia naukowego, dydaktycznego i zawodowego Kandydat uczestniczył w szeregu kursach i szkoleniach na wyższych uczelniach w kraju i za granicą oraz w ośrodkach badawczo-rozwojowych i w jednostkach projektowo-wykonawczych. Na macierzystej uczelni pełnił szereg funkcji organizacyjnych i społecznych.

W 2021 r. Kandydat opublikował monografię naukową stanowiącą **tytuł osiągnięcia naukowego „Analiza imperfekcji cieplnych systemów ETICS z uwzględnieniem konwekcji wewnątrz ściany"**,

Biuro Dziekana
wpłynęło dnia 25.01.2022
RDITL/21/2022

Wpłynęło dnia 25.01.2022 r.
RDITL.532.4.2022

która wraz z cyklem publikacji międzynarodowych powiązanych tematycznie jest podstawą wystąpienia z wnioskiem o wszczęcie postępowania habilitacyjnego. **Nigdy wcześniej Kandydat nie ubiegał się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.**

3. Działalność naukowa i zawodowa

Po ukończeniu studiów i podjęciu pracy w Katedrze Procesów Budowlanych Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej, dr **Paweł Krause** zajmuje się głównie doskonaleniem projektowania, wykonywania i diagnostyką oraz jakością cieplną budynków. Problematyka ta stanowi główny nurt Jego zainteresowań przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora nauk technicznych i jest nadal pogłębiana i twórczo wzbogacana w okresie ok. 16 lat jaki minął od uzyskania stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

Dorobek naukowy Pawła Krausego po uzyskaniu stopnia naukowego doktora stanowi **istotny wkład** w dziedzinę budownictwa w zakresie metod projektowania, diagnostyki i analizy cieplnej budynków.

Bardzo bogata działalność badawcza dra **Pawła Krausego** znajduje wyraz w dużej liczbie publikacji w liczących się periodykach naukowych i naukowo-technicznych w kraju i za granicą, a także w drukowanych materiałach wielu konferencji krajowych i zagranicznych. Na dzień 1 marca 2021 r. ogólna liczba publikacji wynosi **212** (w ok. 200 po doktoracie). Te ostatnie były poddawane selekcjom i recenzjom, w tym wybitnych specjalistów zagranicznych zanim zostały zakwalifikowane do wygłoszenia i wydrukowania.

Sumaryczny wskaźnik Impact Factor wymienionych wyżej publikacji **wynosi 18,242. W bazie Web of Science wyróżniono 11 prac** Pawła Krausego (czerwiec 2021), a sumaryczna liczba ich cytowań wynosi **55. W bazie Scopus jest 10 prac cytowanych 54 razy. W bazie biblioteki Politechniki Śląskiej znajduje się 213 pozycji bibliograficznych. Natomiast w bazie Gogle Scholar znajduje się 115 publikacji cytowanych 152 razy.**

Różnica pomiędzy liczbą prac i liczbą ich cytowań w poszczególnych bazach wynika ze stosunkowo znacznej liczby publikacji autorstwa **Pawła Krausego**, które ukazywały się w polskojęzycznych czasopismach branżowych (Izolacje, Materiały Budowlane, Przegląd Budowlany, Builder itp.). Publikacje te nie są indeksowane w anglojęzycznych bazach (**WoS** czy **Scopus**).Pragnę nadmienić, że prace te mają charakter naukowy lub popularyzatorski, a znaczna część tych wydawnictw była ujęta na liście B wykazu czasopism opracowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego bądź indeksowana w krajowej bazie BazTech. W tabeli 1 zestawiono wskaźniki cytowań dorobku publikacyjnego według trzech baz: WoS, Scopus oraz Google Scholar.

Tablica 1. Wskaźniki cytowań publikacji Pawła Krausego według wybranych baz (stan czerwiec 2021)

Baza	Liczba prac w bazie	Liczba cytowań	Liczba cytowań bez autocytowań
Web of Science	11	55	33
Scopus	10	54	34
Google Scholar	115	152	76

Indeks Hirsza według bazy Web of Science wynosi **5**, według bazy Scopus **5**, według bazy Research Gate **6**, a według Google Scholar **6** (czerwiec 2021). Mając na uwadze, że znaczna liczba publikacji indeksowanych przez Scopus i Web of Sciences powstała w ostatnich trzech latach i są one cytowane, jak pokazuje wskaźnik cytowań rocznych ze **średnią 9 cytowań w roku**, należy się spodziewać pozytywnego przyrostu cytowań w kolejnych latach.

Sumaryczna liczba punktów MNiSW za publikacje wynosi **1205 pkt. MNiSW** według bazy danych Politechniki Śląskiej.

Spośród ważniejszych prac wykonanych przez **Pawła Krausego** lub przy Jego głównym udziale wymienić należy następujące:

- badania i analizy teoretyczne ścian w różnych warunkach oddziaływania temperatur,
- badania i analizy płyt w różnych warunkach obciążeń i ociepleń,
- analizy numeryczne konstrukcji ściennych z izolacją ETICS z wykorzystaniem systemów MES,
- badania (murowych) ścian ściskanych na oryginalnym stanowisku badawczym samodzielnie skonstruowanym przez Autora,
- kalibracje parametrów kontaktowych z zastosowaniem przestrzennego numerycznego modelu muru i konstrukcji murowych w konstrukcjach in situ,
- badania oraz zasady diagnostyki cieplnej konstrukcji żelbetowych i murowych obiektów o skomplikowanych konstrukcjach, jak np. wieżowych i wielofunkcyjnych,
- oceny detekcji zbrojenia i wykrywania wad w konstrukcjach żelbetowych i murowych,
- badania i analizy cieplno-wilgotnościowe niezbrojonych i zbrojonych ścian murowych o różnych konfiguracjach i warunkach obciążenia,
- projektowanie konstrukcji ściennych murowych niezbrojonych i zbrojonych oraz belek i ścian usztywniających w konstrukcjach rzeczywistych z systemami ociepleń ETICS,
- liczne badania poligonowe oraz wdrożenia politechniczne i techniczne napraw i wzmocnień ważnych i odpowiedzialnych konstrukcjach murowych i żelbetowych.

Wśród licznych artykułów, które Kandydat publikował w renomowanych czasopismach przy Jego znaczącym udziale, wiodącej roli i inspiracji należy wymienić następujące:

- Properties of expanded graphite polystyrene damaged by the impact of solar radiation. **Journal of Building Engineering** 2021 vol. 34 p. 1-8,
- Experimental studies involving the impact of solar radiation on the properties of expanded graphite polystyrene. **Energies** 2020 vol. 13 iss. 1 art. no. 75 s. 1-17,
- The impact of internal insulation on heat transport through the wall: case study. **Applied Sciences** 2020, vol. 10, iss. 21 s. 1-18,
- Estimation of thermal transmittance based on temperature measurements with the application of perturbation numbers. **Heat and Mass Transfer** 2018 vol. 54 iss. 5, s. 1477-1489,
- A numerical and experimental investigation of temperature field in place of anchors in ETICS system. **Construction and Building Materials** 2018 vol. 167, s. 553-565,

- Moisture transport in cellular concrete walls with the connector for thermal insulation. Periodica **Polytechnica-Civil Engineering** 2018 vol. 62 iss. 4 s. 986-991,
- Infrared thermography of walls in residential buildings in historic workers housing estates in Upper Silesia. Mechatronics for cultural heritage and civil engineering. Eds. Erika Ottaviano, Assunta Pelliccio, Vincenzo Gattulli. **Springer International Publishing**, 2018,
- Wärmedämmende Schalung zur Energieeinsparung während der Betonerhärtung. **Bauphysik** 2009 Jg. 31 H. 4 s. 204-207.

Dr Paweł Krause jest autorem bardzo wielu prac naukowo-badawczych i naukowo-technicznych dla gospodarki narodowej, zarówno w kraju jak i za granicą. Większość prac Kandydata znalazła zastosowanie w praktyce inżynierskiej. Za prace naukowo-badawcze i naukowo-techniczne był on wielokrotnie wyróżniany i nagradzany.

Wykonał ponad **30 recenzji** dla 11 czasopism naukowych, w tym 5 mających wskaźnik Impact Factor, oraz recenzje monografii (4) i rozdziałów monografii (4). Jest także członkiem Rady Recenzentów czasopisma BUILDINGS i członkiem rady programowej czasopisma IZOLACJE. Ponadto Kandydat był ekspertem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oceniający projekty B+R, m.in. w Programie Operacyjnym Innowacyjnej Gospodarki, oś priorytetowa: Badania i rozwój nowoczesnych technologii.

Po obronie pracy doktorskiej, swoje referaty Kandydat prezentował na ponad **50 konferencjach krajowych i międzynarodowych**. Jest cenionym i uznanym badaczem oraz diagnostą z dziedziny ochrony cieplnej budynków, w tym budynków zabytkowych, zarówno w kraju, jak i za granicą. Zapraszany jest do udziału w ważnych konferencjach krajowych i międzynarodowych, a także w szkoleniach specjalistycznych.

W dziedzinie inżynierskiej **dr Paweł Krause** jako specjalista opracowuje ważne i odpowiedzialne opinie i ekspertyzy naukowo-techniczne obiektów budowlanych, w tym wiele ważnych i trudnych obiektów budownictwa ogólnego, przemysłowego, komunikacyjnego i specjalistycznego.

Wieloletnia działalność naukowa i zawodowa **dra Pawła Krausego** była realizowana na wysokim poziomie merytorycznym, przyczyniając się do rozwiązywania szeregu zagadnień naukowych z zakresu właściwości technicznych, projektowania i diagnostyki cieplno-wilgotnościowej obiektów budowlanych. Wyniki tej działalności są wdrażane do praktyki inżynierskiej przynosząc duże korzyści gospodarce narodowej. Kandydat posiada wiele wdrożonych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych oraz innych zastosowań praktycznych, a także dziesiątki prac i projektów wdrożonych, w tym wyróżnionych.

Dr Paweł Krause brał również udział w wielu badaniach naukowych, w zespołach realizujących projekty i granty, w tym pełniąc w nich wiodącą rolę. Na płaszczyźnie naukowej wykazuje się **współpracą z innymi uczelniami i instytucjami naukowymi,** realizując m.in. zagraniczny staż naukowy w University of Applied Sciences Zittau/Görlitz oraz prowadząc wspólne badania naukowe (z University of Applied Sciences Zittau/Görlitz oraz Kaunas University of Technology Institute of Architecture and Construction), a także publikując rezultaty tych badań w czasopismach naukowych (9 wspólnych publikacji z 6 uczelniami lub instytucjami naukowymi).

Kandydat posiada pełne uprawnienia budowlane, a także jest rzeczoznawcą budowlanym. Prowadzi badania diagnostyczne obiektów w zakresie oceny ich stanów technicznych.

Jest Autorem lub Współautorem ponad **400** opracowań naukowo-badawczych, ekspertyz, opinii technicznych i projektów obiektów oraz nowoczesnych rozwiązań cieplno – konstrukcyjnych. Między innymi zrealizował badania jakości cieplnej fasady jednego z najwyższych budynków w Polsce – biurowca SKYLINER w Warszawie, a także analizy największego budynku pasywnego za pomocą symulacji numerycznej. Ponadto brał On udział w opiniowaniu aktów prawnych z zakresu fizyki cieplnej budowli.

Reasumując, bardzo pozytywnie oceniam działalność Kandydata w zakresie naukowym i zawodowym, w których wykazywał się istotną aktywnością.

4. Działalność dydaktyczno-wychowawcza

Dr Paweł Krause obok aktywnej działalności naukowej i zawodowej przejawia ożywioną działalność dydaktyczno-wychowawczą, społeczną i organizacyjną.

Oprócz zajęć dydaktycznych na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych na Politechnice Śląskiej i w innych Szkołach Wyższych, prowadził także wykłady i szkolenia na kursach i studiach podyplomowych wielu ośrodków krajowych (AGH i inne).

Kierował samodzielnie **ponad 200 pracami** dyplomowymi, magisterskimi i inżynierskimi. Obok zajęć dydaktycznych pełnił On m.in. funkcję opiekuna grup studenckich, w tym studentów niemieckojęzycznych na macierzystej uczelni.

Kandydat był członkiem Komisji uczelnianych na Politechnice Śląskiej, członkiem komitetów naukowych oraz organizacyjnych wielu Konferencji Naukowych i Naukowo-Technicznych. Opracował kilka monografii i podręczników z zakresu fizyki budowli. Jest konsultantem merytorycznym prac doktorskich na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej.

Był wyróżniany wieloma nagrodami i odznaczeniami za bardzo dobre prace naukowe i projektowe, w tym przez Rektora Politechniki Śląskiej.

Reasumując, bardzo pozytywnie oceniam Kandydata w zakresie działalności dydaktyczno-wychowawczej.

5. Działalność organizacyjno-zawodowa

Obok działalności naukowej i dydaktycznej **dr Paweł Krause** intensywnie pracuje na płaszczyźnie inżynierskiej opracowując prace naukowo-techniczne, oceny i ekspertyzy ważnych i trudnych obiektów budowlanych i inżynierskich. Posiada odpowiednie uprawnienia specjalistyczne do ocen, napraw i modernizacji budynków, ze szczególnym uwzględnieniem zróżnicowanych systemów ociepleń. Za działalność organizacyjną i zawodową otrzymywał nagrody Politechniki Śląskiej.

Obok działalności wymienionej w p. 4, **dr Paweł Krause** pełnił różne funkcje organizacyjne zarówno na Politechnice Śląskiej jak i poza nią. Między innymi na macierzystej Uczelni był członkiem Komisji dziekańskich oraz członkiem Komitetów organizacyjnych sympozjów, konferencji i zjazdów. Obok nagród Rektora Politechniki Śląskiej **dr Paweł Krause** był nagradzany m.in. w Ogólnopolskim Konkursie

„Modernizacja Roku & Budowa XXI w." pod patronatem Ministerstwa Infrastruktury i Głównego Inspektora Nadzoru Budowlanego w kategorii „Obiekty zabytkowe". Poza działalnością uczelnianą Kandydat był jednym z założycieli Polskiego Stowarzyszenia Budownictwa Ekologicznego (PLGBC) oraz twórcą działu budowlanego TÜV Nord Polska. W zakresie popularyzującym naukę reprezentował Politechnikę Śląską na targach branżowych, spotkaniach promujących Uczelnię w szkołach średnich województwa Śląskiego oraz organizując seminaria naukowe, w tym międzynarodowe. Ponadto Kandydat współpracował z Izbami Zawodowymi Inżynierów Budownictwa oraz brał udział w **35** krajowych i zagranicznych konferencjach szkoleniowych.

Podsumowując, w działalności zawodowej Kandydat opracował szereg innowacyjnych ekspertyz, ocen oraz autorskich projektów budowlanych obiektów zrealizowanych i eksploatowanych o skomplikowanej strukturze takich jak: stadiony sportowe, kryte pływalnie, galerie handlowe, budynki mieszkalne i użyteczności publicznej, a także obiekty komunikacyjne oraz budynki zabytkowe zarówno na terenie Górnego Śląska jak i w całym kraju, pełniąc w nich wiodącą rolę.

Reasumując, bardzo pozytywnie oceniam działalność Kandydata w zakresie organizacyjnym i popularyzującym naukę oraz zawodowym.

6. Ocena osiągnięcia naukowego (monografii habilitacyjnej)

Przedstawiona monografia obejmuje wieloletnie badania Autora nad zagadnieniami stanu ochrony cieplnej ścian zewnętrznych ze złożonymi systemami ociepleń ETICS. Monografia składa się z trzech podstawowych części: teoretycznej, doświadczalnej i obliczeniowej.

Pierwszym elementem poznawczym pracy było usystematyzowanie wiedzy na temat nieprawidłowości złożonych systemów ociepleń ścian zewnętrznych, wpływających na ich izolacyjność cieplną. Niewielka liczba dotąd udokumentowanych badań w tym zakresie świadczy o tym, że oddziaływania imperfekcji cieplnych systemów ociepleń ETICS na stany ochrony cieplnej ścian zewnętrznych nie zostało jeszcze rozpoznane w wystarczającym stopniu. W tej części monografii, na podstawie przeprowadzonych przez Autora badań in situ, zidentyfikował On skalę problemu i dokonał klasyfikacji imperfekcji cieplnych.

W części teoretycznej przedstawił również mechanizmy wymiany ciepła przez przewodzenie, konwekcję i promieniowanie, ze szczególnym uwzględnieniem imperfekcji ETICS. Wykorzystując podobieństwo ustalonych pól temperatury dla systemów ociepleń, Autor przyjął modele umożliwiające ukazanie zależności charakterystycznych różnic temperatury i odpowiadających im oporów cieplnych zarówno w miejscach występujących defektów cieplnych, jak i poza obszarem ich oddziaływania. Osiągnięciem Autora w tej części jest zaproponowany sposób uwzględnienia imperfekcji cieplnych systemów ociepleń ETICS w obliczeniach izolacyjności cieplnej ścian przy wykorzystaniu kryterialnych liczb podobieństwa.

Wykonane przez Autora badania w warunkach rzeczywistych umożliwiły zdefiniowanie i opracowanie autorskiej klasyfikacji imperfekcji cieplnych systemów ETICS, w podziale na: defekty cieplne, dyslokacje cieplne oraz dyslokacje cieplne połączone z niekontrolowaną infiltracją powietrza wewnątrz ściany.

Analizy studialne i wstępne badania diagnostyczne prowadzone na budynkach z zewnętrznymi złożonymi systemami ociepleń umożliwiły przyjęcie Kandydatowi programu badań własnych. Pierwszym ich etapem były badania prowadzone przez dra Pawła Krausego w quasi-stacjonarnych warunkach laboratoryjnych, pozwalające na rozpoznanie mechanizmów wymiany ciepła w obszarze imperfekcji systemów ETICS i wskazujące na konieczność rozbudowania części eksperymentalnej o badania prowadzone w normalnych warunkach eksploatacyjnych.

Po zrealizowaniu badań laboratoryjnych Autor przeprowadził badania systemu ociepleń ETICS z występującymi defektami cieplnymi w zmiennych rzeczywistych warunkach oddziaływań środowiska zewnętrznego i wewnętrznego. Na ich podstawie stwierdził, że:

- wielkość i charakter zmian temperatury na styku warstwy termoizolacyjnej i konstrukcyjnej w miejscach występujących defektów cieplnych ETICS jest zależna od sposobu wypełnienia nieciągłości izolacji cieplnej. Dla defektów wypełnionych powietrzem stwierdził szybsze zmiany temperatury w odniesieniu do defektów wypełnionych zaprawą klejącą. Ponadto dla izolacji termicznych o zwiększonych oporach cieplnych wypełnienie występujących nieciągłości powietrzem spowodowało spadek średniej temperatury wewnątrz ściany w stosunku do wypełnienia zaprawą,
- wzrost szerokości defektów cieplnych ETICS spowodował w warunkach zimowych obniżenie temperatur w pionowych szczelinach powietrznych zlokalizowanych pomiędzy warstwami termoizolacyjnymi i konstrukcyjnymi. Natomiast w warunkach letnich dla defektów o zwiększonych szerokościach występowały większe wzrosty temperatur wewnątrz ścian w ciągu dnia, a także szybsze ich spadki nocą. Następowało to w przypadku defektów wypełnionych zaprawą klejącą i powietrzem,
- rozkłady temperatur w pionowych szczelinach powietrznych zlokalizowanych pomiędzy warstwami termoizolacyjnymi i konstrukcyjnymi stanowiącymi dyslokacje cieplne ETICS ulegały zmianom wraz z wysokością ścian. Jest to związane ze zwiększonym konwekcyjnym ruchem powietrza w ich wnętrzach, powodującym występowanie największych pionowych gradientów temperatur w dolnych obszarach ścian,
- niekontrolowane infiltracje powietrza zewnętrznego w pionowych szczelinach stanowiących dyslokacje cieplne systemu ETICS przyczyniły się do istotnego obniżenia temperatur wewnątrz ścian w okresach zimowych. W wybranych warunkach otoczenia rozkłady temperatur w warstwach termoizolacyjnych i konstrukcyjnych były zbliżone do linii prostej, wskazując na obniżenie izolacyjności cieplnej przegród. W okresach letnich występująca infiltracja powietrza spowodowała znacznie mniejsze zróżnicowanie temperatur wewnątrz ścian,
- istotniejsze wpływy na rozkłady temperatur w pionowych szczelinach stanowiących dyslokacje cieplne ETICS w badaniach prowadzonych zimą w warunkach rzeczywistych wywierały temperatury powietrza zewnętrznego. Potwierdzeniem tego były wyznaczone przez Autora współczynniki korelacji Pearsona, których najwyższe wartości otrzymał dla ciągów z opóźnieniem czasowym. W okresie letnim współczynniki korelacji wyznaczone pomiędzy poszczególnymi temperaturami zarejestrowanymi wewnątrz dyslokacji cieplnej a temperaturą zewnętrzną i wewnętrzną wykazały zbliżone wartości. Z kolei badania prowadzone w warunkach quasi-stacjonarnych wykazały, że dla

ścian z warstwami konstrukcyjnymi o niewielkich oporach cieplnych, istotniejszy wpływ na zmiany temperatur w miejscu dyslokacji cieplnych wywiera temperatura powietrza wewnętrznego.

Wykonane przez Kandydata badania doświadczalne w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych umożliwiły rozpoznanie wpływu występowania imperfekcji cieplnych na termiczne odpowiedzi ścian z systemami ociepleń ETICS. Pomimo ograniczeń badawczych zaproponowana koncepcja badań okazała się słuszna, pozwalając na dokonanie jakościowej i ilościowej oceny założonych nieprawidłowości systemów ociepleń.

Zrealizowane w pracy, przy wykorzystaniu zróżnicowanych metod pomiarowych, liczne badania eksperymentalne stanowiły istotny wkład Autora w tematykę związaną z występowaniem imperfekcji cieplnych złożonych systemów ociepleń ścian zewnętrznych. W omawianym obszarze bardzo ważną ich częścią była diagnostyka termograficzna. Powyższe badania zostały przeprowadzone w dwóch etapach. W pierwszym Kandydat zastosował klasyczne wykorzystanie termografii pasywnej realizowanej w warunkach obniżonej temperatury powietrza zewnętrznego. W drugim zrealizował w okresie lata termografię aktywną w postaci pomiarów ciągłych oraz pomiarów w trybie kroku czasowego. Ponadto w wyniku zrealizowanych badań termograficznych Autor stwierdził, że:

- występujące defekty cieplne ETICS spowodowały zróżnicowanie temperatury na zewnętrznych powierzchniach ścian, zależnie od ich szerokości i sposobu wypełnienia. Analiza wrażliwości modelu pomiaru temperatury wykorzystanego systemu termowizyjnego wykazała, że największy wpływ na błąd jej wyznaczenia wywierało nieprawidłowe określenie emisyjności powierzchni badanego obiektu. Innymi wielkościami, których przyjęcie także rzutowało na dokładność wyznaczenia temperatur metodą podczerwieni, były temperatura tła i temperatura powietrza zewnętrznego. Dla zrealizowanego zakresu badań zmienna wilgotność względna powietrza zewnętrznego, a także zróżnicowana odległość kamery od badanej ściany nie wpływały na dokładność oceny temperatury w pomiarach termograficznych,
- nieciągłości warstw termoizolacyjnych systemów ETICS spowodowały występowanie zaburzenia rozkładu temperatur na zewnętrznych powierzchniach ścian. Zastosowanie analiz statystycznych umożliwiło Autorowi określenie odległości, dla których dochodziło do zaniku tych zaburzeń. Były one zależne od szerokości defektów cieplnych,
- w badaniach diagnostycznych systemów ociepleń prowadzonych przez Autora zarówno zimą, jak i latem wprowadził On pomiarową charakterystykę w postaci kontrastu temperaturowego ETICS, pozwalającą na ilościową ocenę defektów cieplnych. Użyteczność charakterystyki wynikała z wykorzystania wyłącznie zdalnego pomiaru temperatur na powierzchniach zewnętrznych ścian z pominięciem konieczności wyznaczania strumienia ciepła. Metoda badań diagnostycznych defektów cieplnych przy wykorzystaniu termografii i zaproponowanych charakterystyk pomiarowych pozwoliła Autorowi na prowadzenie szybkiej diagnostyki cieplnej jako wyjściowego stadium prognozowania stanu ochrony termicznej ścian zewnętrznych. Wielkością umożliwiającą najlepszą ocenę występujących defektów cieplnych dla badań realizowanych w warunkach zimowych był zaproponowany przez Kandydata w pracy maksymalny kontrast temperaturowy $C_{ETICS,max}$, a dla pomiarów prowadzonych latem $C_{ETICS,min}$,

- w celu wstępnej identyfikacji konwekcyjnego ruchu powietrza wewnątrz nieciągłości stanowiącej defekty cieplne systemu ETICS Autor zaproponował współczynnik nierównomierności temperatury. Analiza wyników badań wykazała, że wielkość ta umożliwiła ocenę zróżnicowania defektów w zakresie sposobu ich wypełnienia,
- zastosowanie pomiarów termograficznych w warunkach wysokich temperatur powietrza zewnętrznego wraz z wyznaczeniem kontrastu temperaturowego ETICS stanowiło skuteczną metodę diagnostyczną, pozwalającą na jakościową i ilościową ocenę występujących defektów cieplnych systemów ETICS,
- dla pomiarów termograficznych zrealizowanych w okresach występowania wysokich temperatur powietrza zewnętrznego i bezpośredniego oddziaływania promieniowania słonecznego wartości bezwzględne kontrastu temperaturowego były wyższe w porównaniu z wynikami otrzymanymi w warunkach obniżonych temperatur otoczenia. Stanowiło to potwierdzenie skuteczności zaproponowanej przez Autora metody diagnostycznej, która może być wykorzystywana latem,
- badania termograficzne zrealizowane w trybie pomiarów ciągłych w warunkach wysokich temperatur powietrza zewnętrznego wykazały zróżnicowaną szybkość zmian temperatur na powierzchniach ścian w miejscach występujących defektów cieplnych w stosunku do obszarów referencyjnych. Potwierdziło to możliwość zastosowania termografii aktywnej, wykorzystującej jako źródło wzbudzenia cieplnego promieniowanie słoneczne, w badaniach jakości systemów ociepleń ETICS,
- przejście z fazy nagrzewania do fazy stygnięcia rozpoczynało procesy wyrównywania się temperatur na powierzchniach ścian. W stadium stygnięcia szybsze zmiany temperatur następowały w obszarach referencyjnych w stosunku do miejsc występowania defektów cieplnych. Dodatkowo zróżnicowana dynamika zmian temperatury spowodowała występowanie tzw. inwersji cieplnej, skutkującej zmianą wartości kontrastu temperaturowego.

Badania doświadczalne zrealizowane w skali rzeczywistej, charakteryzowały się ograniczoną liczbą wariantów badawczych. Uwzględniając powyższe Autor wykonał obliczenia numeryczne, które dla przyjętych założeń dały wyniki zbliżone do wyników pomiarów doświadczalnych. Natomiast na podstawie analizy MES Kandydat stwierdził, że:

- występowanie imperfekcji cieplnych ETICS wpływa na zmianę gęstości strumienia ciepła przenikającego przez ocieploną ścianę, powodując w większości przypadków obniżenie jej oporu cieplnego. W wyniku badań eksperymentalnych, uzupełnionych analizami obliczeniowymi, Autor zaproponował wyznaczenie całkowitych zastępczych oporów cieplnych ścian zawierających imperfekcje systemów ETICS, uzależniając je od wartości kryterialnych liczb podobieństwa. Takie podejście nie znalazło do tej pory zastosowania w użytecznych modelach obliczeniowych pozwalających na oszacowanie izolacyjności termicznych ścian z imperfekcjami cieplnymi,
- wyznaczenie oporów cieplnych ścian z defektami cieplnymi o zróżnicowanych szerokościach zostało zrealizowane za pomocą zależności funkcyjnych $R_{T,zast}(\delta_{def})$. Najlepsze wyniki uzyskano dla zależności stopnia drugiego. W efekcie Autor zaproponował wyznaczenie całkowitego zastępczego oporu cieplnego ścian w funkcji zmodyfikowanej liczby kryterialnej Biota,
- występowanie dyslokacji cieplnych o szerokości nieprzekraczającej $\delta_{dys} = 20$ mm spowodowało wzrost całkowitych zastępczych oporów cieplnych analizowanych ścian. Dyslokacje o większej szerokości

skutkowały obniżeniem całkowitego zastępczego oporu cieplnego ścian. Uwzględniając szerokość dyslokacji warunkującej intensywność przypływu ciepła oraz temperaturę pionowych powierzchni ją ograniczających, Autor zaproponował określenie całkowitych zastępczych oporów cieplnych ścian w funkcji liczby Rayleigha,

- w przypadku występowania łącznie dwóch imperfekcji systemu ETICS tj. dyslokacji cieplnych i niekontrolowanej infiltracji powietrza, następował znaczny wzrost gęstości strumienia ciepła przenikającego przez ścianę. Konsekwencją tego było obniżenie całkowitego zastępczego oporu cieplnego, który dla analizowanych przypadków został wyznaczony w postaci funkcyjnej. Przyporządkowując prędkość przepływającego powietrza wewnątrz pionowych szczelin do określonych szerokości otworów umożliwiających ich niekontrolowaną infiltrację Autor wyznaczył całkowity opór cieplny ścian w funkcji bezwymiarowej liczby podobieństwa Pecleta.

Połączenie wyników badań doświadczalnych z obliczeniami numerycznymi umożliwiło Autorowi pogłębione rozpoznanie występujących mechanizmów wymiany ciepła wewnątrz ścian z imperfekcjami systemów ETICS. Sprzężenie teoretycznego i praktycznego wymiaru naukowego pracy z potrzebami rozwiązania problemów natury technicznej pozwoliło na osiągnięcie zakładanych celów postawionych przez Kandydata w monografii. Jednocześnie przyczyniło się do opracowania nowej ilościowej metody badań defektów cieplnych, opierającej się na pomiarach termograficznych, możliwej do zastosowania zarówno zimą, jak i latem. Ponadto umożliwiło wyznaczenie całkowitego zastępczego oporu cieplnego ścian z imperfekcjami cieplnymi.

Do osiągnięć Autora można także zaliczyć zaproponowany w pracy sposób szacowania wielkości defektów cieplnych z zastosowaniem zdefiniowanego w pracy maksymalnego kontrastu temperaturowego ETICS. W przeciwieństwie do ogólnych zaleceń prowadzenia diagnostyki termograficznej ścian zewnętrznych metodę tę wykorzystał i pomyślnie zweryfikował w warunkach występowania zarówno niskich, jak i wysokich temperatur otaczającego powietrza. Prowadzenie przez Autora badań termowizyjnych latem przy bezpośrednim oddziaływaniu promieniowania słonecznego na powierzchnię badanych ścian otwiera nowe możliwości diagnostyki cieplnej systemów ETICS, ograniczonej dotychczas wyłącznie do warunków obniżonej temperatury powietrza zewnętrznego. Bowiem rezultaty ich stosowania w okresach letnich mogą dawać znacznie lepsze efekty diagnostyczne w porównaniu z pomiarami prowadzonymi zimą.

Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Niezależnie od pozytywnej oceny wartości merytorycznej rozprawy, z obowiązku recenzenta muszę wskazać pewne niedostatki, które można traktować jako subiektywne, bo wynikają z wiedzy i poglądów opiniodawcy. Dotyczą one:

- wyjaśniania charakteru i przebiegu określonych zależności empirycznych dla różnych układów ścian z defektami cieplnymi,
- oceny dokładności wyznaczania defektów cieplnych w badaniach termograficznych realizowanych w warunkach wysokiej temperatury powietrza zewnętrznego,

- ograniczeń zaproponowanej metody diagnostycznej w postaci badań termograficznych realizowanych w warunkach letnich przy oddziaływaniu promieniowania słonecznego.

Uważam, że przedstawione w monografii kierunki dalszych prac są słuszne i należy je kontynuować.

Ocena osiągnięcia naukowego

Wieloletnie analizy, badania doświadczalne i analizy numeryczne wraz z monografią stanowią istotne osiągnięcia naukowe Autora, określające wpływ występujących imperfekcji cieplnych na jakość cieplną ścian w systemach ETICS dając podstawy do oceny, projektowania i diagnostyki cieplnej ścian zewnętrznych.

Istotna aktywność naukowa Kandydata, polegająca na nowatorskich badaniach, współpracy ze studentami, młodą kadrą i innymi ośrodkami naukowymi, aktywne uczestnictwo w wielu Konferencjach problemowych, publikatorska nt. przedmiotowych zagadnień, współpraca z zagranicą oraz przemysłem, **zasługuje na uznanie.**

Reasumując przedstawioną monografię oceniam również pozytywnie jako osiągnięcie naukowe stanowiące istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Lądowa i Transport odpowiadające Kandydatowi na stopień doktora habilitowanego.

7. Ocena końcowa i wniosek

W przedstawionej charakterystyce działalności naukowej, dydaktycznej i zawodowej oraz monografii habilitacyjnej dr Paweł Krause skoncentrował swe zainteresowania i wysiłki na naukowym i inżynierskim opracowaniu podstaw teoretycznych i doświadczalnych występowania imperfekcji cieplnych w systemach ETICS z uwzględnieniem konwekcji wewnątrz ścian zewnętrznych.

Wyniki Jego prac znalazły wyraz w **bardzo dużej liczbie publikacji krajowych i międzynarodowych, a także znalazły praktyczne zastosowanie w diagnostykach i wdrożeniach różnorodnych obiektów budowlanych.**

Od uzyskania stopnia doktora nauk technicznych (2005 r.) Kandydat **wzbogacił swój dorobek naukowy i wniósł twórczy wkład inżynierski do diagnostyki i oceny systemów ociepleń ścian zewnętrznych, a także do projektowania bardzo dużej liczby obiektów często o skomplikowanej strukturze.** Jego monografia naukowa jako osiągnięcie naukowe **stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport.** Ponadto wykazuje się **istotną aktywnością naukową realizowaną w wielu uczelniach i instytutach naukowych, w tym zagranicznych.**

Dzięki swym twórczym i innowacyjnym pracom oraz wysokim morale Kandydat **zdobył duży autorytet w środowisku budowlanym naukowym i inżynierskim** stając się Jego wybitnym przedstawicielem i godnym reprezentantem **w wymiarze międzynarodowym.**

Biorąc powyższe pod uwagę, a także pozytywną ocenę osiągnięcia naukowego (monografii habilitacyjnej) stwierdzam, że **dr Paweł Krause spełnia wszystkie warunki stawiane przez obowiązującą Ustawę z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668) kandydatom do nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego.**

Ponadto ze względów naukowych i praktycznych wniosek zasługuje na **wyróżnienie**. Zrealizowane osiągnięcie naukowe Kandydata wpisuje się doskonale w strategię działań Komisji Europejskiej zakładającą, iż badania naukowe będą motorem postępujących zmian poprawiających efektywność energetyczną budynków. W ich efekcie **dr Paweł Krause** na podstawie zrealizowanych badań i analiz zaproponował oraz pomyślnie zweryfikował metodę diagnostyki cieplnej, pozwalającą na ilościowe określenie występujących imperfekcji systemów ociepleń ETICS, w tym niespotykane dotychczas badania termograficzne prowadzone w okresie występowania wysokiej temperatury powietrza zewnętrznego przy oddziaływaniu promieniowania słonecznego. Jej wykorzystanie otwiera nowe możliwości diagnostyki cieplnej systemów ETICS, ograniczone dotychczas wyłącznie do warunków obniżonej temperatury otoczenia.

Warszawa, 20.01.2022 r.

Recenzję podpisał
Leonard Runkiewicz

* wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz. U. z 2026 r. poz. 1764)
Marzena Gaura