

Prof. dr hab. inż. Anna Halicka

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Bogusza Jaszcza

pt.

BADANIA DOŚWIADCZALNE I NUMERYCZNE ZNISZCZENIA W FAZIE CHŁODZENIA SŁUPA ŻELBETOWEGO PODDANEGO ODDZIAŁYWANIU PODWYŻSZONEJ TEMPERATURY

przygotowanej pod kierunkiem
promotora - prof. dr hab. inż. Mieczysława Kuczmy
promotora pomocniczego – dr inż. Arkadiusza Denisiewicza

Podstawa opracowania: uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej z dnia 24 marca 2026 roku i pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Jacka Pielechy.

1. Problem naukowy, przedmiot i charakter rozprawy

Zachowanie konstrukcji w warunkach pożaru ma podstawowe znaczenie dla bezpieczeństwa obiektu budowlanego. Ma ono odzwierciedlenie w procesie projektowania, regulowanego normą EC1-1-2 oraz normami z serii Eurokod, dedykowanymi projektowaniu na warunki pożarowe poszczególnych typów materiałowych konstrukcji. Jednak wiele związanych z tym tematem zagadnień cząstkowych jest nadal nie w pełni rozwiązanych - stąd ustawicznie podejmowane są badania nad zachowaniem się konstrukcji w warunkach pożaru. W ten nurt wpisuje się recenzowana rozprawa doktorska.

Doktorant podjął problem naukowy zachowania się jednego typu elementów żelbetowych, a mianowicie słupów, w pełnym zakresie zmienności temperatur występujących w czasie i po pożarze (w fazach nagrzewania i studzenia), podczas gdy zalecane w normach z serii Eurokod zależności „temperatura-czas” obejmują jedynie fazę nagrzewu.

Podjęty problem naukowy uważam za ważny i warty badań, bowiem wyniki zrealizowanych badań prowadzą do uzupełnienia wiedzy z zakresu podjętej tematyki. Wybór przedmiotu badań, jakim są słupy, uznaję za trafny, bowiem są to newralgiczne elementy konstrukcji szkieletowych, w tym słupowo-płytowych. Badania i analiza ich wyników, przeprowadzona w całym cyklu zmian temperatury, jaki przechodzi każdy element poddany pożarowi, są w mojej ocenie bardzo cenne i wykraczają poza standardowe podejście projektowe i badawcze. Zniszczenie elementów betonowych w fazie studzenia jest rozpatrywane rzadko, a realnie występuje (ja również obserwowałam w swoich badaniach zniszczenie w fazie studzenia próbek betonowych wygrzewanych do 1000°C).

Praca ma charakter analityczno-doświadczalny – jej istotą są zarówno badania laboratoryjne jak i analizy numeryczne, w ramach których Doktorant stworzył program do obliczania nośności słupów w pełnym cyklu nagrzewanie-studzenie. Wyniki prezentowane w dysertacji mogą być uogólnione, mogą służyć jako podstawa dla kolejnych badań i analiz, a program komputerowy do określania rozkładu temperatur w przekroju elementu może być używany w praktyce. A więc wyniki prac Doktoranta mają potencjał aplikacyjny.

2. Zawartość i układ dysertacji

Rozprawa liczy 130 stron tekstu podstawowego, do którego dołączono na początku spis treści, streszczenia w języku polskim i angielskim, podziękowania autora, oraz spis definicji i oznaczeń, a na końcu - bibliografię oraz załączniki (Załącznik 1 zawiera dane dotyczące użytej mieszanki betonowej, Załączniki 2 i 3 zawierają algorytmy blokowe użytych programów, a Załącznik 4 stanowi dysk USB zawierający pliki robocze).

Bibliografia zawiera 189 pozycji literaturowych, w tym dwa akty prawne i 11 norm. Cytowane prace są w większości angielskojęzyczne (134 pozycje), choć jest tu także 36 prac polskojęzycznych i sześć niemieckojęzycznych. Bibliografia zawiera jedną współautorską publikację Doktoranta.

W rozprawie najogólniej wyróżnić można następujące części:

1. Wstęp (rozdział 1) prezentujący genezę, cele, hipotezę badawczą i zawartość pracy;
2. Studia literaturowe na temat przedmiotu pracy - słupy żelbetowe obciążone oddziaływaniami termicznymi, zachowania stali i betonu w podwyższonych temperaturach oraz zalecenia normowe do projektowania słupów żelbetowych w warunkach pożaru (rozdziały 2 i 3);
3. Rozdziały 4 i 5, w których zaprezentowano badania laboratoryjne i ich wyniki;
4. Prezentację modelu numerycznego i jego walidację (rozdziały 6 i 7);
5. Wnioski końcowe wraz z prezentacją kierunków dalszych badań (rozdział 8).

3. Merytoryczna ocena pracy

3.1 Ocena ogólna rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska ma charakter, jak już pisałam w p. 1, doświadczalno-analityczny. Stwierdzam, że jest ona pracą oryginalną. Jej realizacja wskazuje na kompetencję Doktoranta, w szczególności w zakresie pracy w laboratorium i analiz numerycznych. Widoczna jest konsekwencja działań, przemyślenie ich kierunku i twórcza realizacja, a także krytyczny stosunek do uzyskanych wyników. Przeprowadzone prace pozwoliły na osiągnięcie celów rozprawy.

Szczegółowa ocena merytoryczna rozprawy zostanie przedstawiona poniżej poprzez oceny poszczególnych jej części. Sformułowane uwagi, wiele z nich o charakterze dyskusyjnym, mają na celu wskazanie zagadnień, na które należałoby zwrócić uwagę w dalszych badaniach i publikacjach.

3.2 Ocena tytułu, celu i tezy pracy

Tytuł rozprawy odzwierciedla jej treść, jednak w mojej opinii same badania nie powinny być wartością samą w sobie. W tytule powinien być przedstawiony problem badawczy (np. *wpływ warunków pożarowych i popożarowych na*). Ponadto tytuł nie odzwierciedla najważniejszego elementu – tego, że temperatury są pożarowe i że analizowano także fazę studzenia.

Geneza podjęcia tematu podana jest dość obszernie, ale wyczytać z niej można jedynie zainteresowanie Doktoranta zagadnieniem odporności pożarowej obiektów budowlanych, natomiast nie ma tam genezy podjęcia tematu zachowania się konstrukcji w pożarze w fazie chłodzenia.

Nie mogę się zgodzić z zawartym w tym podrozdziale stwierdzeniem, że *nośność pożarowa elementu nie musi być jednak poparta żadnymi obliczeniami*, nośność w warunkach pożaru bowiem powinna być zapewniona przez projektanta zgodnie z EC2-1-2. Nawet pozornie „nieobliczeniowa” metoda tabelaryczna oparta jest na wynikach „ukrytych” obliczeń.

Doktorant sformułował następujące cele szczegółowe dysertacji:

- *Wywołanie w czasie badania laboratoryjnego celowego zniszczenia obciążonego słupa żelbetowego w fazie chłodzenia,*
- *Stworzenie programu obliczeniowego do projektowania słupów żelbetowych w warunkach pożaru.*

Cele badań te uznaję za zasadne a badania ukierunkowane na ich osiągnięcie za warte podjęcia.

Hipoteza badawcza brzmi: *Dla słupa żelbetowego, obciążonego stałą siłą zewnętrzną oraz zmiennym oddziaływaniem podwyższonej temperatury, możliwe jest wywołanie jego kontrolowanego zniszczenia w fazie chłodzenia i jest podstawą pierwszego z wymienionych wyżej celów.* Drugi cel badań nie ma odzwierciedlenia w sformułowanych hipotezach badawczych. Odczuwam brak genezy sformułowania celu badań i hipotezy. Napisano co prawda, że możliwość zniszczenia słupa w wyniku studzenia była wcześniej relacjonowana w badaniach, ale jednak należałoby odnieść się również do tego, czy zaistniały takie przypadki w praktyce. Tu mam również uwagę dotyczącą zastosowanego pojęcia *chłodzenie*, bowiem Doktorant nie analizował „operacji” chłodzenia (np. gaszenie pożaru), ale naturalny powrót do temperatury otoczenia, a więc *studzenie*.

3.3 Ocena studiów literatury

Studia literaturowe obejmują zagadnienia, które uznaję za właściwe. Wybrane źródła są niewątpliwie związane z tematem i ważne. W ramach studiów literaturowych analizowane były następujące zagadnienia:

- opis zachowania słupów żelbetowych w warunkach podwyższonej temperatury (p. 2.1) oraz ogrzanych słupów w fazie studzenia (p.2.2),
- opis warunków termicznych w badaniach symulujących pożar (p.3.1),
- opis wpływu temperatur pożarowych na parametry materiałowe betonu (p.3.2) i stali zbrojeniowej (p. 3.3)
- opis normowych metod wyznaczania nośności słupów żelbetowych w warunkach pożaru (p. 3.4).

Studia literaturowe zawierają zestawienie zagadnień niezbędnych do rozwiązania podjętego problemu badawczego, ich dobór uznaję za prawidłowy.

Mocną stroną studiów literaturowych jest sięganie do starszych źródeł literaturowych, gdzie relacjonowano wyniki badań, a także wykonanie przykładu obliczeniowego nośności słupa w warunkach pożarowych w dwóch wariantach danych. Za bardzo wartościowe uznaję wyartykułowanie różnic między właściwościami termicznymi betonu zalecanymi przez dwie normy EC2-1-2 i EC4-1-2 i wskazanie za pomocą przykładu obliczeniowego, że przyjęcie ich w obliczeniach nośności prowadzić może do skrajnie różnych wniosków (niespełnienie warunku R60 w przypadku zastosowania wartości z EC2-1-2 i spełnienie tego warunku w przypadku wartości z EC4-1-2).

Za słabszą stronę studiów literaturowych uznaję to, że większość z relacjonowanych badań jest jedynie zaprezentowana werbalnie, odczuwam brak wykresów pokazujących przebieg zależności opisywanych przytaczanymi wzorami, a przede wszystkim porównań prezentowanych danych (tabele, wykresy, porównania liczbowe), natomiast w przypadku prezentacji metod obliczania nośności elementów w warunkach pożaru odczuwam brak ilustracji rysunkowych.

Na zakończenie studiów literaturowych nie sformułowano wniosków specyfikujących braki i nieścisłości w zaprezentowanych danych, które miałyby zostać uzupełnione i wyjaśnione w podjętych badaniach własnych.

Do tej części pracy mam następujące uwagi szczegółowe:

- Sposób przywołania norm z serii Eurokod i interpretacja obowiązku ich stosowania jest niewłaściwa:
 - str. 57₉, 59₃₋₂: Nie można mówić o *eurokodzie żelbetowym*, *eurokodzie stalowym* i *eurokodzie zespolonym*. Są to określenia żargonowe, w mojej opinii niedopuszczalne w pracach naukowych.
 - str. 35¹⁴: Sformułowanie *eurokod obecny* i *eurokod przyszły* są niewłaściwe. Można domyślać się, że w przypadku *eurokodu przyszłego* chodzi Autorowi o normę Eurokod drugiej generacji, ale PN-EN 1992-1-2 nie jest już *przyszłym eurokodem*, ponieważ został on wprowadzony przez PKN do spisu norm aktualnych już w 2024 roku (podobnie str. 48¹¹ i 56¹⁷). Dotyczy to także str. 63₄ i innych, gdzie mówi się o drafcie EC2-1-2 z roku 2021 jako o *najnowszym drafcie eurokodu*.
 - Pisanie o *obowiązującej normie* (str. 62₄ i inne) jest nieprecyzyjne, ponieważ zgodnie z podejściem UE oraz ustawą o normalizacji stosowanie norm nie jest obowiązkowe, a szczególnie nieprawidłowe jest stwierdzenie o *uprawomocnieniu* normy (str. 65₂).
- Str. 33₁₀₋₇: Stwierdzenie, że efekty ogrzania lub ochłodzenia konstrukcji wskutek zmian temperatury otoczenia są uwzględniane jedynie przy projektowaniu dylatacji konstrukcji i nie wpływają na dobór przekroju i materiału jest absolutnie nieuprawnione. Wartości takich oddziaływań termicznych pozwala obliczyć norma EC1-5, a ich wpływ na konstrukcje (tzw. „odkształcenia wymuszone”) realnie wpływają na siły wewnętrzne elementów, w których odkształcenia te są skrupowane. O skutkach nie uwzględnienia tych oddziaływań w obliczeniach, boleśnie przekonało się wielu projektantów, szczególnie konstrukcji żelbetowych.
- Str. 39₁₂₋₈ i w innych miejscach: Opisywanie wzoru bez jego przytoczenia nie jest właściwe.
- Str. 51¹¹, 51₁₁, 53₆: Czym są „odkształcenia przejściowe”?
- Str. 50₆, 50²¹, 53³ i 53⁵ (także 110¹): Napisano, że odkształcenia LITS są odkształceniami reologicznymi. Jak, w kontekście reologii rozumieć należy odkształcenia LITS, które nie są od czasu zależne (patrz wzór 3.67)?

Jak rozumiem, chodzi tu głównie o efekty pełzania betonu. Oddziaływania termiczne w czasie pożaru są z reguły krótkotrwałe i wydawałoby się, że wartość odkształceń pełzania jest niewielka, ale rzeczywiście w podwyższonych temperaturach rośnie współczynnik pełzania, rozumiany zgodnie z definicją EC2-1-1. Wydaje się, że pełzanie najlepiej byłoby uwzględniać poprzez klasyczną definicję EC2-1-1 z „termiczną” korektą współczynnika pełzania. Tu natomiast, jak rozumiem, odkształcenia LITS mają „zastąpić” efekt zwiększenia współczynnika pełzania w wysokiej temperaturze (końcowego??). Czy istnieją badania współczynnika pełzania z podwyższonej temperaturze?
- W tekście nie znalazłam przywołania zawartych w bibliografii prac [69, 70], a w przywołanej pracy [6] nie ma stwierdzeń, które jej cytowanie ma potwierdzić (str. 20²).
- W mojej opinii, zważywszy na cel badań, stosunkowo mało miejsca poświęcono czynnikom powodującym zniszczenie elementów próbnych w fazie w studzenia.

Oprócz przywoływanych przykładów zniszczenia próbek można byłoby też sięgnąć do badań mojego współautorstwa (*Construction and building materials* z roku 2013 oraz [51]), gdzie nieobciążone próbki na cemencie portlandzkim uległy zniszczeniu w czasie wygrzania do 1000°C. Po zmianie typu cementu na cement glinowy w fazie ochłodzenia rozpadły się próbki na kruszywie żwirowym, a próbki na recydingowym kruszywie ceramicznym pozostały nienaruszone. Doktorant badał większe elementy próbne i to pod obciążeniem, a przede wszystkim w niższej temperaturze. Ale pozostaje pytanie – jaki czynnik powoduje, że próbki mogą zniszczyć się w fazie studzenia?
- Uwagi do przykładu obliczeniowego:

- Analizowano słup żelbetowy o podporach przegubowych - zarówno górnej jak i dolnej. Czy taka sytuacja jest możliwa w praktyce?
- W opisie brakuje kilku informacji. Jakiego podziału na strefy dokonano? Jak policzono mimośród wynikający z efektów II rzędu? Po jakim czasie działania pożaru wystąpią rozkłady temperatury pokazane na rys. 3.3?
- Algorytm programu obliczeniowego w załączniku 3 jest zaprezentowany zbyt lakonicznie, np. jak wyznaczono obwiednię nośności przekroju zredukowanego?
- Nie można, co postuluje Doktorant na str. 72₆₋₅, spowodować *wymuszenia na wytwórniach betonu badań właściwości termicznych betonu*. Właściwości te nie są specyfikowane przez normę PN-EN 206.

3.4 Ocena badań doświadczalnych

Program badań laboratoryjnych dotyczył próbnych elementów słupowych o wymiarach 500 x 80 x 80 x mm, wykonanych z betonu i zbrojonych, obciążonych osiowo i obejmował cztery etapy badań:

- Etap 1 - badania 12 elementów próbnych w dwóch wariantach zbrojenia, w warunkach normalnych.
Tu uwaga - nieco niezrozumiałe jest stwierdzenie na str. 73₁₀₋₉, że dzięki dwóm wariantom zbrojenia możliwa była ocena poprawności przyjętej wartości wytrzymałości stali zbrojeniowej. Wytrzymałość ta powinna zostać określona w próbie rozciągania stali. Ponadto – dlaczego rozważa się wytrzymałość, a nie granicę plastyczności stali zbrojeniowej?
- Etap 2 – badania bez obciążenia zewnętrznego 6 elementów próbnych ogrzanych do temperatury 600°C, a następnie obciążenie do zniszczenia.
- Etap 3 - badania 6 elementów próbnych obciążanych stałą siłą w warunkach temperatury wzrastającej do 600 °C.
- Etap 4 - badania 6 elementów próbnych obciążanych stałą siłą w warunkach zmiennej temperatury – najpierw wzrastającej do 600 °C, a następnie malejącej do temperatury otoczenia.

Na początek należy podkreślić, że badania były trudne i ambitne. Program badań przygotowany i przedstawiony został kompleksowo. Doceniam zaplanowanie czterech etapów badań, w których przewidziano różne, coraz trudniejsze, warunki temperaturowe. Doceniam zrealizowanie badań na sześciu elementach próbnych w każdym z etapów. Przy trudnych badaniach nie wszyscy badacze podejmują badania w liczbie elementów próbnych, która pozwala na formułowanie uogólniających wniosków, jak ma to miejsce w tym przypadku. Podkreślić też trzeba staranność w konstruowaniu stanowiska badawczego, a w szczególności sprostanie konieczności wykonania indywidualnych podpór przegubowych oraz elementów pośrednich przekazujących obciążenie na próbki umieszczone w komorze termicznej.

Starannie uzasadnione zostały przyjęte parametry geometryczne próbek i sposób ich zbrojenia. Opis procesu przygotowania próbek i stanowiska badawczego pozwala na stwierdzenie, że prace przygotowawcze prowadzone były z dbałością o uzyskanie jak największej precyzji, a opis przebiegu badań pozwala uznać ich wyniki za wiarygodne.

Wyniki badań zostały przedstawione klarownie - opisano obraz zniszczenia, wartości sił niszczących oraz sporządzono wykresy zmiany długości elementów próbnych próbek.

Moje uwagi do części badań laboratoryjnych i wniosków z nich wynikających są następujące:

- Założono klasę wytrzymałości C30/37 (str. 79₁₅) , a uzyskano średnią wytrzymałość betonu 52,2 MPa (str. 83₁), co odpowiada klasie C45/55. Należałoby skomentować tę różnicę.

- Na str. 86⁶ napisano o wydłużeniu elementów próbnych. W przypadku ściskania było to raczej skrócenie.
- Wyniki etapu czwartego opisane są w nawiązaniu do przebiegu wykresów czas-odkształcenie, ale wykresów tych nie zamieszczono. To utrudnia ich analizę.
- W przypadku etapu czwartego, który jest kluczowy w analizowanym zagadnieniu nie sformułowano wniosków (tu odesłano do wniosków końcowych).

3.5 Ocena analiz numerycznych

Niewątpliwym osiągnięciem Doktoranta jest stworzenie własnego programu do analizy słupów żelbetowych poddanych oddziaływaniu sił zewnętrznych oraz oddziaływaniu nagrzewania i studzenia, co odzwierciedla zrealizowane badania laboratoryjne. Co bardzo ważne, uzyskane wyniki analiz numerycznych w postaci zależności „zmiana długości elementu próbnego – czas” dobrze odzwierciedliły wyniki badań laboratoryjnych.

Wybór zależności konstytutywnych betonu ściskanego i stali oraz całą procedurę walidacji modelu uznaję za ogólnie prawidłową. Walidacja modelu polegała na doborze modeli materiałowych, których zastosowanie skutkowało najlepszą zgodnością z eksperymentem. Analiza wyników jest merytoryczna i bardzo wnikliwa. Zwraca uwagę staranne i czytelne przedstawianie wyników na wykresach. W efekcie uzyskano zgodność modelu z eksperymentem.

Uwagi dotyczące analiz numerycznych są następujące:

- Nie podano w jakim języku programowania napisano kod źródłowy,
- Podano zależność konstytutywną betonu ściskanego, natomiast, jaką zależność przyjęto dla betonu rozciąganego? W opisie podano jedynie wartość wytrzymałości na rozciąganie.
- Po jakim czasie działania pożaru wystąpią rozkłady temperatury pokazane na rys. 6.1? Którego przekroju na długości elementu próbnego ten rozkład dotyczy?
- Na wykresach 6.6 i 6.7 oś pionowa powinna być opisana jako *naprężenie ściekające*, a nie *wytrzymałość betonu na ściskanie*.
- W dwóch kolejnych zdaniach na początku strony 110 występuje niespójność. Najpierw napisano, że *Model ten z założenia uwzględnia w sobie odkształcenia reologiczne LITS*, a w drugim zdaniu, że zostało to w jednej z prac opisane następująco: *the material properties in EC2, which ignore influence of loading history and transient creep*.
- Dlaczego na rysunku 6.7 temperatura spada do 0 stopni Celsjusza, podczas gdy podstawowa w EC2-1-2 jest 20°C?
- Str. 119⁷⁻⁶: Założono, zgodnie z modelem badawczym, że odkształcenia nie generowały naprężeń, bowiem element próbny miał swobodę odkształceń. W praktyce taka swoboda odkształceń z reguły nie występuje. Jaka jest zatem możliwość dostosowania programu do warunków rzeczywistych?
- Który etap badań i przy jakich obciążeniach obrazuje rysunek 6.13?
- Str. 126⁷⁻⁸: Pisząc o przyjęciu modelu betonu, Doktorant odniósł się do wytrzymałości resztkowej betonu. Porównywano wytrzymałość przyjętą w modelu z wytrzymałością uzyskaną eksperymentalnie, stwierdzając niezgodność tych wartości. W rozdziale 5 nie znalazłam badań wytrzymałości resztkowej betonu. Doktorant odnosi się w tej kwestii w tablicy 7.2, gdzie porównuje wartości siły niszczącej próbkę. Ale nośności zarówno eksperymentalne jak i numeryczne oraz ich różnice nie są tożsame z analogicznymi wartościami wytrzymałości betonu – wszak na nośność elementu wpływa nie tylko beton, ale i stal.
- Brakuje wydzielonego podsumowania analiz numerycznych, a w szczególności jednoznacznego wyspecyfikowania parametrów materiałowych uzyskanych w wyniku walidacji modelu, zapewniających najlepszą zgodność modelu z eksperymentem.

3.6. Ocena wniosków pracy i kierunków dalszych badań

Na zakończenie rozprawy zamieszczone zostało podsumowanie zawierające wnioski, przedstawiające oryginalne elementy pracy oraz kierunek dalszych badań.

Co do wniosków to zostały one zaprezentowane w formie skondensowanego podsumowania wyników badań laboratoryjnych. Odczuwam brak sformułowanych w punktach wniosków, w tym wniosków uogólniających, a przede wszystkim odniesienia się do postawionej hipotezy badawczej (czy została potwierdzona?) i wyznaczonych celów (czy zostały osiągnięte?).

Wnioski zostały uzupełnione stwierdzeniem, że model numeryczny został zwalidowany prawidłowo. To jest stwierdzenie odnoszące się do jakości procesu walidacji, które powinno być raczej sformułowane przez recenzenta. Lepiej byłoby napisać, że w wyniku walidacji uzyskano model dobrze odzwierciedlający wyniki eksperymentu.

W tej części Doktorant wyspecyfikował też trafnie oryginalne elementy rozprawy.

Na zakończenie Doktorant sformułował kierunki dalszych badań, które obejmują głównie korektę programu badań laboratoryjnych zgodnie ze zdobytym dotychczas doświadczeniem. W świetle treści rozprawy wszystkie kierunki takiej korekty są prawidłowe i przemyślane. Ja ze swej strony namawiałabym na równoległe rozwijanie programu obliczeniowego, a mianowicie na rozszerzenie przypadków, w których program mógłby być używany (rzeczywiste elementy konstrukcyjne). W mojej opinii wartościowe byłoby też podjęcie zagadnienia szybkiego chłodzenia (np. wskutek akcji gaśniczej).

4. Ocena strony redakcyjnej pracy

Układ pracy jest prawidłowy i czytelny. Ogólnie praca jest napisana jest poprawnym, jasnym językiem, choć występuje dość dużo sformułowań potocznych.

Uwagi redakcyjne i językowe, zestawione poniżej, nie mają wpływu na merytoryczną ocenę pracy:

- Występują nieścisłości w nazewnictwie, np.
 - str. 19¹⁶⁻¹⁷: Elementy konstrukcyjne charakteryzowane są nie *nośnością pożarową* tylko *nośnością* wynikającą z odporności ogniowej,
 - str. 34¹¹, 34₉, 35¹² i w innych miejscach: Przywoływanie normy w formie *eurokod [138]* nie jest właściwe, należy pisać *Eurokod 1-1-2 [138]*, albo *EC1-1-2 [138]*,
 - W przypadku betonu należy używać pojęcia *moduł sprężystości*, a nie *moduł Younga*.
 - Str. 41¹³: Co to jest *pasta cementowa*?
 - Str. 50¹⁷, 50₆: Słowo „uwikłany” używane jest w opisie funkcji matematycznych nieprecyzyjnie. Rozumiem, że Doktorantowi chodziło o uwzględnienie we wzorach odkształceń reologicznych, a nie ich uwikłanie.
 - Jakim symbolem oznaczano odkształcenia FTS? Z opisu pod wzorem (3.57) wynikałoby, że symbolem jest ϵ_{tr} , a z opisu nad wzorem (3.58), że jest to ϵ_{th} .
 - Str. 90¹³ i w innych miejscach: Napisano o *wytrzymałości elementów*, tymczasem „wytrzymałość” jest cechą materiałową, a element charakteryzuje się „nośnością”.
- Występują pewne uchybienia i „niezgrabności” stylistyczne oraz słowa żargonowe, np.
 - str. 19⁸: *redukcja jest umocowana obliczeniami* (podobnie str. 37₃),
 - str. 28₁₃₋₁₂: Jest *opublikowano ... przez zespół badaczy* winno być *opublikowane zostało przez zespół badaczy*.
 - str. 39₂ i w innych miejscach napisano: *w układzie SI zdefiniowane* (w domyśle – ciepło właściwe) *jako J/kg/K* – tymczasem w układzie SI nie jest zdefiniowane pojęcie, tylko podana jednostka.
 - Str. 40₁₄: Napisano *ciepło właściwe ... można przyjmować jako odwracalne* – chyba chodzi o zmiany ciepła właściwego.
 - str. 47¹: Co to znaczy, że *beton ... wyczerpuje nośność*.

- str. 53¹⁵: Słowo *eurokodowski* jest niepoprawne.
- str. 78¹²: Słowo *sprefabrykowany* nie jest prawidłowy.
- Występują uchybienia interpunkcyjne, np.: na str. 34 i w innych miejscach przed wzorami są kropki zamiast dwukropków, a po wzorach nie ma żadnego znaku interpunkcyjnego; str. 44₃ – niepotrzebny przecinek, str. 115₈ – brakuje przecinka przed „aby”, str. 115₂ – brakuje przecinka przed „co”.
- Występują równoważniki zdań bez orzeczenia, np. str. 38¹¹⁻¹⁰, 39³, 76⁴⁻⁷.
- Występują „literówki” – np. 38¹² jest „następuję” winno być „następuje”, str. 42₆ – jest „zostaje” winno być „zostaje”, str. 45₆ - - jest „odpowiadają wartością” winno być „odpowiadają wartościom”, str. 55₁₀ – jest „beton|” winno być „betonu”, str. 61₆ – jest „korozje” winno być „korozję”, str. 67⁵ – jest „która” winno być „która”, str. 77₄ - jest „większym” winno być „większej”, str. 84₇ – jest „wszystkich” winno być „wszystkie”, str. 94¹³ – jest „postacie” winno być „postaci”, str. 105₈ – jest „siatkę” winno być „siatka”, str. 100₂ – jest „wyznaczaną” winno być „wyznaczana”, str. 112₄ – jest „tablica” winno być „tablicą”, str. 115₆ – jest „skończony” winno być „skończonych”.

5. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska mieści się w zakresie dyscypliny *inżynieria lądowa, geodezja i transport*. Jest niewątpliwie dziełem oryginalnym i samodzielnym. Doktorant podjął ważne zagadnienie, które konsekwentnie rozwiązywał. Wykazał się wiedzą teoretyczną z zakresu podjętej tematyki, umiejętnością modelowania numerycznego i realizacji eksperymentów oraz twórczej analizy wyników obliczeń i badań. Dysertacja świadczy o opanowaniu przez Doktoranta warsztatu badań naukowych.

Ostatecznie stwierdzam, że przedłożona rozprawa mgr inż. Bogusza Jaszczaaka pt. **BADANIA DOŚWIADCZALNE I NUMERYCZNE ZNISZCZENIA W FAZIE CHŁODZENIA SŁUPA ŻELBETOWEGO PODDANEGO ODDZIAŁYWANIU PODWYŻSZONEJ TEMPERATURY** spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zmianami). Wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Lublin dn. 20.06.2026