

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**mgr inż. Jacka Partyki**  
**pt. „Wpływ warunków zewnętrznych na proces krzepnięcia wody**  
**w materiałach porowatych”**

## **1. Dane ogólne**

Oceniana rozprawa doktorska została wykonana w Instytucie Inżynierii Środowiska na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego, pod naukowym kierownictwem promotora dr hab. inż. Zygmunta Lipnickiego, prof. UZ. W części zasadniczej rozprawa składa się z 5 rozdziałów a ponadto wykazu symboli i oznaczeń, wstępu i bibliografii oraz spisów: a) treści, b) tabel, c) rysunków i d) fotografii. Do rozprawy dołączono jej streszczenia w językach polskim i angielskim oraz załączniki w postaci dziesięciu arkuszy danych, dokumentujących badania eksperymentalne. Łącznie liczy ona 127 stron i zawiera 20 tabel, 27 fotografii i 40 rysunków, ilustrujących głównie wyniki badań eksperymentalnych.

Zgodnie z tytułem przedmiotem dysertacji jest badanie wpływu warunków zewnętrznych na proces krzepnięcia wody w wilgotnych materiałach porowatych w obecności niskich temperatur w celu weryfikacji postawionej na wstępie hipotezy badawczej, że położenie wilgotnych elementów budowlanych i warunki zewnętrzne wpływają na usytuowanie frontu krzepnięcia i jego rozwój w ośrodku porowatym. Cel poznawczy to opracowanie użytecznego modelu opisu i obliczeń procesu krzepnięcia wilgotnego materiału porowatego a następnie jego weryfikacja eksperymentalna.

## **2. Uzasadnienie tematyki rozprawy**

Konwekcja swobodna i przewodzenie ciepła są dominującymi mechanizmami transportu ciepła w obiektach budowlanych. Zaś materiały porowate to najczęściej stosowane konstrukcyjne materiały budowlane. Zawilgocenie materiałów budowlanych powoduje znaczące zmiany w zachodzących w nich procesach transportu ciepła, a w przypadku zamarzania wody negatywnie wpływa na właściwości konstrukcyjne i trwałość tych materiałów. Z tych przyczyn znajomość przebiegu procesu krzepnięcia wody w wilgotnych materiałach porowatych

jest ważna zarówno z powodów praktycznych, technicznych jak również poznawczych, co nadaje recenzowanej rozprawie zarówno aspekt teoretyczny, jak i aplikacyjny.

### 3. Charakterystyka merytoryczna rozprawy

W **rozd.1** omówiono na wstępie podstawowe właściwości materiałów porowatych, ważne dla omawianych dalej zagadnień transportu ciepła w wilgotnych materiałach porowatych. Dalej, z wykorzystaniem obszernego przeglądu literatury przedmiotu, omówiono zagadnienia transportu wody i ciepła, a w szczególności konwekcję wymuszoną i konwekcję swobodną w wilgotnych materiałach porowatych. Osobny podrozdział poświęcono zagadnieniu krzepnięcia wody wewnątrz materiałów porowatych, a wyniki obszernego przeglądu literatury ujęto w postać tabeli, ze szczegółowym opisaniem zastosowanych procedur eksperymentalnych i uzyskanych wyników badań. W wyniku analizy dorobku w światowej literaturze przedmiotu autor wskazał na: a) niedostatek badań teoretycznych i eksperymentalnych odnośnie szczególnego wpływu anomalii zależności gęstości wody od temperatury na inicjację konwekcji swobodnej cieczy w wilgotnych materiałach porowatych; b) znaczenie ułożenia złoża porowatego względem siły grawitacji na kształt i rozwój frontu krzepnięcia oraz c) wpływ oporu cieplnego warstwy kontaktu pomiędzy chłodzoną ścianką a zakrzepłą wewnątrz złoża warstwą lodu na zmiany grubości tejże warstwy w czasie.

Wskazane wnioski, wynikające z analizy literatury przedmiotu, autor rozprawy wykorzystał w badaniach własnych.

W **rozd.2** przedstawiono główne cechy fizyczne konwekcji swobodnej w cieczy w pobliżu powierzchni krzepnięcia wody w materiale porowatym, ze szczególnym uwzględnieniem wskazanych wcześniej jej aspektów, jak anomalia rozszerzalności cieplnej wody, położenie przestrzenne frontu krzepnięcia oraz wartość współczynnika przejmowania ciepła na powierzchni tego frontu. Na podstawie różniczkowych bilansów ciepła dla krzepnącej warstwy lodu wewnątrz materiału porowatego zaproponowano trzy modele narastania warstwy lodu w czasie, które oznaczono: model – a, ze ścianką chłodzoną o stałej temperaturze; model – b, ze ścianką chłodzoną konwekcją wymuszoną oraz model – c, uwzględniający opór cieplny warstwy kontaktu pomiędzy ścianką chłodzoną a zakrzepłym lodem. Wnioski wynikające z wstępnej analizy modeli teoretycznych weryfikowano w toku dalszych badań eksperymentalnych.

W najobszerniejszym rozdziale pracy, **rozd. 3 (wraz z załącznikami)**, szczegółowo omówiono konstrukcję stanowiska doświadczalnego, metodykę i wyniki badań. Zaprojektowane przez autora stanowisko służy do obserwacji procesu narastania zakrzepłej warstwy

lodu w czasie dla zmiennych warunków zewnętrznych. Szczegółowo omówiono właściwości pomiarowe elementów składowych stanowiska, a charakterystyczne ułożenia przestrzenne jednostki centralnej przedstawiono na fotografiach. W badaniach wykorzystano dwa rodzaje materiału porowatego, mikrokulki szklane o średnicy 1,5 mm oraz kruszywo żwirowe o frakcjach 2-8, 8-16 i 16-32 mm. Według stałej i usystematyzowanej procedury pomiarowej kolejno zbadano procesy krzepnięcia wody, dalej krzepnięcia w materiale porowatym z mikrokulek przy czterech charakterystycznych położeniach jednostki centralnej – pionowym, nachylonej pod kątami  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  i  $180^{\circ}$ , a dla trzech wymienionych frakcji żwirowych dla pionowego usytuowania jednostki centralnej. Wyniki każdej serii wyników pomiarów przedstawiono w jednorodny sposób w postaci tabel, zamieszczonych w załącznikach oraz wykresów w tekście pracy w postaci zależności grubości warstwy zakrzepłej od czasu krzepnięcia.

Całość badań eksperymentalnych podsumowano wnioskami dotyczącymi właściwości oraz zgodności metod pomiaru grubości warstwy zakrzepłej – ekstrapolacyjnej (graficznej) i optycznej. Dokonano również analizy wpływu ustawień przestrzennych płytki chłodzącej oraz innych warunków zewnętrznych na kształt i grubość krzepnącej warstwy lodu.

W **rozd. 4** skupiono się na porównaniu wyników pomiarów eksperymentalnych z omawianym wcześniej modelem teoretycznym – model – c - krzepnięcia warstwy lodu wewnątrz badanych materiałów porowatych i dla różnych usytuowań przestrzennych powierzchni chłodzonej. Stwierdzono dobrą zgodność grubości warstwy zakrzepłej w funkcji czasu krzepnięcia dla wszystkich badanych położeniach przestrzennych jednostki centralnej.

**Rozdz. 5** stanowi podsumowanie badań teoretycznych i eksperymentalnych autora rozprawy. Do wskazanych przez autora osiągnięć pracy można zaliczyć: a) trzy charakterystyczne warianty modelu teoretycznego zjawiska krzepnięcia, zachodzącego w wilgotnym materiale porowatym; b) zaprojektowanie i budowę oryginalnego stanowiska badawczego; c) systematyczne wykonanie badań eksperymentalnych z wykorzystaniem trzech metod pomiaru położenia frontu krzepnięcia oraz weryfikacja jednego z modeli względem danych pomiarowych.

## 4. Uwagi krytyczne

### 4.1. Uwagi redakcyjne

Oceniana rozprawa jest poprawnie skonstruowana, aczkolwiek szczegółowa realizacja tej konstrukcji budzi szereg moich zastrzeżeń. Odnoszę wrażenie, że rozprawa powstała w pośpiechu, stąd częste błędy redakcyjne, z których ważniejsze omawiam:

- Cały tekst obfituje w liczne proste błędy, zwane popularnie „literówkami”. Wystarczyłoby tekst choćby raz uważnie przeczytać, bowiem WORD nie jest w stanie wychwycić wszystkich błędów związanych z niepoprawną deklinacją lub błędnym użyciem czasu.
- W kilku miejscach znalazłem całkowicie zbędne i nic nie mówiące fragmenty tekstu (ogólniki), jak na str.20 dwa zdania od dołu; str.21, wiersze 14,15 i 16 od góry oraz wiersze 21 i 22 też od góry, str.30 od dołu 22, 21 i 17,16; str.35 wiersz 9 poniżej górnego wzoru; str. 37 pierwsze zdanie poniżej tytułu rozdziału i tak do końca pracy.
- Muszę podkreślić, że nazywanie prostych obliczeń obliczeniami numerycznymi, co powtarza się w rozprawie, to błąd nie tylko redakcyjny.
- Miarą nieporządku w rozprawie mogą być błędy w opisie występujące w rozdz. 4. Cytowany w nim wzór (2.41) odnosi się do modelu – c, patrz str. 55. Natomiast we wniosku a) na str.98 autor mówi o modelu – a, który nie uwzględnia oporu kontaktowego.

Wskazane błędy nie dyskwalifikują wartości rozprawy ale po prostu zakłócają jej ewidentny dorobek.

#### **4.2. Uwagi merytoryczne**

Przy lekturze rozprawy nasunęło mi się trzy uwagi, które autor może traktować jako dyskusyjne. Chciałbym jednak, aby tą dyskusję podjął autor rozprawy w trakcie omawiania jej treści i osiągnięć.

W rozdz. 2 autor przedstawił obszerny, chronologicznie usystematyzowany przegląd literatury przedmiotu. Dla każdej omawianej publikacji opisano zastosowaną metodę pomiarową, rzadko uzyskane wyniki, a tylko w jednym przypadku przytoczono wnioski z badań eksperymentalnych. Ten niepełny przegląd literatury sugeruje, że autor szukał w niej jedynie inspiracji do budowy i wyposażenia stanowiska eksperymentalnego. Mam wątpliwość, czy z pewnością nie było w tych publikacjach wyników do porównania z własnymi modelami procesu i własnymi wynikami.

W wielu miejscach w rozprawie autor używa rozmytego pojęcia „otrzymano zadowalającą zgodność wyników”. Zgodność wyników mierzy się w naukach ścisłych i technice liczbami. Brak ilościowej analizy błędów i ich dyskusji stanowi ewidentną słabość najważniejszej części tej rozprawy – badań eksperymentalnych.

Wykazywana w wielu miejscach rozprawy zgodność danych eksperymentalnych z wynikami obliczeń wynika z dobrania parametru  $1/B_{CON}$ . Wobec arbitralnego jego dobrania deklarowana „zadowalająca zgodność” nie ma dla mnie wystarczających podstaw do merytorycznej akceptacji.

## **5. Ocena rozprawy**

Przedłożona mi do oceny rozprawa jest wartościową i pomysłowo wykonaną pracą eksperymentalną i teoretyczną. Zrealizowano w niej założone cele badawcze i wykazano poprawność postawionej tezy. Na podkreślenie zasługuje konsekwentnie wykonany cykl badań eksperymentalnych, zrealizowany na oryginalnym stanowisku pomiarowym

Przedstawione wcześniej uwagi krytyczne odnoszą się do dobrej pracy doktorskiej i mają na celu wskazanie autorowi przede wszystkim tych niedoskonałości, pomyłek i błędów, które winien usunąć kontynuując pracę badawczą i publikując wyniki dotychczasowych dokonań. Do ważnych osiągnięć, stanowiących o wartości recenzowanej rozprawy, zaliczam również:

- Logiczny układ całości i właściwy podział na rozdziały. Odbiór pracy ułatwiają starannie zredagowany spis oznaczeń stosowanych w tekście i poprawnie zapisana bibliografia.
- Zręcznie i nowocześnie zrealizowane stanowisko pomiarowe, jednolita prezentacja wyników badań oraz staranna dokumentacja wyników pomiarów.
- Uwzględnienie najważniejszych elementów składowych obserwowanego zjawiska krzepnięcia schładzanej wody i proste ich zapisy w prezentowanych trzech modelach teoretycznych.

## **6. Wniosek końcowy**

Autor rozprawy wykazał się umiejętnością samodzielnego planowania i wykonania badań eksperymentalnych, a także szeroką wiedzą w zakresie nowoczesnych technik pomiarowych oraz umiejętnością teoretycznego modelowania badanego procesu krzepnięcia chłodzonej cieczy wewnątrz materiału porowatego.

Uważam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez stosowną ustawę i winna być dopuszczona do publicznej obrony.