



Wydział Budownictwa i Architektury
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 40
20-618 Lublin



Dr hab. inż. Danuta Barnat-Hunek, prof. ucz.
Katedra Budownictwa Ogólnego
e-mail: d.barnat-hunek@pollub.pl

Lublin, 5.05.2020 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż.

Dalii Bednarskiej

pt.: „Freezing kinetics of water confined in porous building materials”

wykonanej pod kierunkiem

dr hab. inż. Marcina Koniorczyka, prof. ucz. – promotora

oraz dr inż. Piotra Koncę – promotora pomocniczego.

1. Przedmiot i podstawa opracowania recenzji

Przedstawiona rozprawa doktorska dotyczy problematyki z zakresu budownictwa ogólnego oraz fizyki budowli, mieści się więc w dziedzinie nauk technicznych, dyscyplinie inżynieria lądowa i transport. Przedmiotem oceny, zgodnie z art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65 poz. 595), jest sprawdzenie czy praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, czy wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie oraz jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Badania przedstawione w rozprawie doktorskiej zostały częściowo uzyskane w wyniku realizacji grantu: "Experimental analysis and modelling of phase transition of water and aqueous solution confined in porous body with regard to durability of building materials" finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki - Polska, nr UMO-2019/33 / N / ST8 / 00981.

Podstawą formalną do wykonania recenzji rozprawy doktorskiej jest pismo Dziekana Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej, prof. dr hab. inż. Marka Lefika, z dnia 03.04.2020 r.

2. Treść i zakres rozprawy

Oceniana rozprawa została przedstawiona w formie papierowej. Praca zawiera 156 kolejno numerowanych stron opracowania zwięzłego i składa się na nią 5 numerowanych rozdziałów poprzedzonych spisem treści oraz 3 załączniki i streszczenie zamieszczone na końcu pracy. Opracowanie zawiera w części głównej 59 rysunków, 26 tablic i 235 pozycji bibliograficznych.

Rozdział 1 stanowi krótki „Wstęp”, w którym uzasadniono podjęcie tematyki badań, przedstawiono cel i zakres pracy. Autorka zwróciła uwagę, że cykliczne zamrażanie jest tematem często poruszonym w badaniach naukowych, szczególnie w odniesieniu do odporności materiałów na mróz, przy czym najczęściej zakłada się stacjonarne warunki brzegowe, gdy woda i lód pozostają w równowadze z otoczeniem, a efekty kinetyczne są pomijane.

Autorka podjęła się udowodnienia trzech tez w oparciu o realizację szeregu badań i analiz dotyczących kinetyki zamrażania cieczy wypełniającej pory materiału. Tezy, są umieszczone na str. 8 rozprawy doktorskiej.

Uważam, że sformułowane tezy są wystarczająco oryginalne, a zwrócenie uwagi na znaczenie mechanizmu krzepnięcia wody wypełniającej szkielet porowatych materiałów, wpływu jej kinetyki na odkształcenia powstające w betonie oraz prognozowanie dotyczące mikrostruktury materiału na podstawie zawartości i szybkości tworzenia się lodu w układzie porów w cementowych materiałach budowlanych stanowi istotne novum wprowadzone przez Autorkę.

Rozdział 2 poświęcony jest podstawom teoretycznym. Rozdział ten składa się z pięciu podrozdziałów, odnosi się do aktualnego stanu wiedzy dotyczącego charakterystyki porowatych materiałów, hydratacji cementu portlandzkiego, zjawiska transportu cieczy w układzie porów betonu. Autorka scharakteryzowała metody eksperymentalne służące do analizy mikrostruktury cementowych materiałów porowatych, w uwagach końcowych podając ograniczenia wynikające ze stosowania tych metod. Scharakteryzowano prawa dotyczące termodynamicznej równowagi międzyfazowej, mechanizmy krystalizacji wody, histerezę zamrażania i topnienia. Przedstawiono teoretyczne podstawy kinetyki przemian fazowych. Na podstawie dostępnego stanu wiedzy Autorka sformułowała jedną z tez, że szybkie zmiany temperatury, na które mogą być szczególnie narażone porowate materiały budowlane w zimnych klimatach wpływają na ich stan odkształcenia. W świetle analiz przedstawionych w dalszej części pracy podrozdział ten jest bardzo istotny. Podrozdział 4 stanowi kompendium wiedzy odnoszącej się do mrozoodporności materiałów budowlanych i procedur normowych jej określania. Ponadto w podrozdziale 5 przedstawiono teoretyczne podstawy wykorzystanej w części badawczej różnicowej kalorymetrii skaningowej.

Przegląd literatury zawarto na 65 stronach.

W tej części pracy Doktorantka wykazała, że posiada niezbędną wiedzę teoretyczną do przeprowadzenia pracy badawczej w deklarowanym zakresie.

Rozdział 3 składa się z siedmiu podrozdziałów tj. metody eksperymentalne, materiały, wyniki poszczególnych eksperymentów. Stanowią one integralną całość. Rozdział ten obejmuje 49 stron. Doktorantka dokładnie opisała 5 metod badawczych zastosowanych w swojej dysertacji. Scharakteryzowała materiały wyselekcjonowane do badań, w szczególności pod kątem ich mikrostruktury oraz omówiła procedury badawcze. Podrozdziały od 3.4 do 3.7 zdaniem recenzenta są najciekawsze pod względem poznawczym i naukowym. Autorka przedstawiła w nich opis i rezultaty badań własnych. Każdy z podrozdziałów kończy się podsumowaniem, w którym Autorka zamieszczała najważniejsze spostrzeżenia i wnioski z części badawczej.

W rozdziale 4 Doktorantka przeprowadziła analizę całego spektrum zagadnień cząstkowych związanych z mrozoodpornością i strukturą cementowych materiałów oraz wpływem kinetyki krystalizacji wody znajdującej się w porach betonu na jego odkształcenie, co stanowi podsumowanie wyników badań opisanych w dysertacji.

Autorka formułuje wnioski końcowe, które potwierdzają przyjęte w pracy tezy, a także przedstawia kierunki dalszych prac naukowych.

Na końcu pracy znajdują się 3 załączniki i spis literatury:

Załącznik A – Parametry modeli kinetycznych poszczególnych przemian fazowych (5 tabel, 1 rysunek).

Załącznik B – Charakterystyka termodynamiczna fazy ciekłej zawartej w matrycy cementowej (1 tabela, 1 rysunek i podsumowanie).

Załącznik C – Analiza mikrostruktury zaczynu cementowego: porównanie różnych technik eksperymentalnych (1 rysunek i analiza).

Bibliografia wykorzystana w pracy jest w obszerna i obejmuje 235 pozycji, wśród których można wyróżnić książki, monografie, publikacje w czasopismach naukowych, referaty konferencyjne (w sumie 219 pozycji, w tym 10 w języku polskim i 209 pozycji w języku angielskim), normy polskie i europejskie (13 pozycji) i trzy strony internetowe.

3. Ocena rozprawy

3.1. Oryginalność rozwiązania problemu badawczego

Tytuł rozprawy mgr inż. Dalii Bednarskiej: *„Kinetyka zamrażania wody w porowatych materiałach budowlanych”* jest jednoznaczny i zrozumiały, dobrze oddaje problem naukowy przedstawiony w rozprawie.

Autorka podjęła się trudnego i ambitnego zadania badawczego, którego efekty mogą być pomocne przy prognozowaniu trwałości kompozytów cementowych.

Koncepcja pracy opiera się na realizacji głównych celów, jakim jest:

- Naukowa analiza charakterystyki przestrzeni porowej wybranych materiałów porowatych, którą uzyskano różnymi metodami oraz próba ich syntetycznego ujęcia.

- Dokładny opis kinetyki przemian fazowych, którym podlega woda zawarta w porach materiałów.

- Wykazanie, że skład chemiczny silnie wpływa na właściwości termodynamiczne roztworu zawartego w matrycy cementowej, w związku z tym równanie Gibbsa-Thompsona nie może być bezpośrednio użyte do wyznaczania rozkładu wielkości porów w materiałach cementowych.

- Analiza wpływu szybkości chłodzenia na stan naprężenie-odkształcenie występujące w próbkach betonu.

Rozprawa zawiera zarówno studia teoretyczne jak i szeroki zakres badań empirycznych w zakresie omawianego problemu naukowego. Zapewnienie trwałości eksploatacyjnej wyrobów betonowych w warunkach zimowych jest ważnym, wciąż aktualnym problemem budownictwa ogólnego. Odporność porowatych materiałów budowlanych na działanie wody i mrozu bezpośrednio związana jest z charakterystyką porów, ich wymiarami, kształtem, siecią wzajemnych połączeń, a także kinetyką krystalizacji wody i roztworów soli w porach materiałów.

Doktorantka słusznie we wprowadzeniu zwróciła uwagę na fakt, że dotychczas autorzy koncentrowali się na skutkach cyklicznego zamrażania i rozmrażania w stanie równowagi. Tymczasem analiza kinetyczna przejścia fazowego cieczy zawartej w matrycy cementowej może dać znaczny wgląd w naturę tego procesu. To właśnie relacja między szybkością chłodzenia, a ilością powstającego lodu i odkształceniami towarzyszącymi temu procesowi, jak słusznie zauważyła Autorka, może decydować o trwałości kompozytów cementowych. Wiedza o temperaturach przemian fazowych pozwala wnioskować o ich dokładnym położeniu w matrycy cementowej, na podstawie czego można określić mikrostrukturę materiału. Dodatkowo badana jest charakterystyka termodynamiczna rzeczywistego roztworu wypełniającego pory kompozytów cementowych i porównywana z właściwościami wody dejonizowanej. Dlatego sformułowany problem jest nie tylko pasjonujący pod względem poznawczym, ale powinien rozszerzyć podstawy naukowe wnioskowania o mrozoodporności betonu, co świadczy o użytecznej wartości zagadnień poruszanych w rozprawie.

Dokładny opis histerezy zamrażania i topnienia lodu może dostarczyć cennych informacji o kształtach porów betonu bez domieszki i z domieszką napowietrzającą. Jak wykazała Autorka, zastosowanie domieszki napowietrzającej jest niezwykle skuteczne, co potwierdzają znacznie mniejsze różnice w odkształceniach betonu podczas kolejnych cykli zamrażania w porównaniu z betonem referencyjnym.

Wyznaczając zależności pomiędzy rozkładem wielkości porów, szybkością chłodzenia, a stanem naprężenie-odkształcenie można określić wskaźnik do prognozowania odporności

mrozowej betonu zwykłego. Omawiane zagadnienia są szczególnie ważne w celu zrozumienia i wyjaśnienia procesów destrukcyjnych zachodzących w przestrzeni porowej wyrobów betonowych podczas ich eksploatacji w warunkach zimowych. Niedostateczna efektywność, a niekiedy wręcz szkodliwy wpływ domieszek, czy innych polimerów stosowanych w technologii betonu skutkują wzmożoną korozją mrozową obiektów betonowych, co wynika często z niewiedzy inżynierów, czy też błędów wykonawców.

W związku z tym temat recenzowanej rozprawy jest niezwykle istotny w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport, posiada również duże znaczenie aplikacyjne w zakresie trwałości, konserwacji i doboru właściwej ochrony betonu przed korozją, bowiem dobór domieszek napowietrzających i hydrofobizujących ściśle koresponduje ze specyfiką przestrzeni porowej kompozytów cementowych.

Mogę stwierdzić, że tytuł rozprawy, podjęta tematyka badawcza jest niezwykle aktualna i oryginalna pod względem naukowym, zatem jej wybór i przedstawienie w rozprawie doktorskiej uznaję za merytorycznie uzasadnione.

Na zakończenie ogólnej oceny merytorycznej należy również zaznaczyć, że Pani mgr inż. Dalia Bednarska opublikowała już część wyników swojej pracy w czasopismach zagranicznych (wcześniejsza lista filadelfijska A), tj. *Microporous and Mesoporous Materials* (2017, IF: 4,182), *International Journal of Heat and Mass Transfer* (2018, IF: 4,346), *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* (2019, IF: 2,471). są to bardzo respektowane i prestiżowe czasopisma o zasięgu światowym w obszarze inżynierii lądowej, w szczególności fizyki budowli.

3.2. Ocena metodyki badawczej

Rozwiązanie problemu badawczego, udowodnienie zaprezentowanych tez wymagało odpowiednich metod badawczych, zastosowania niekonwencjonalnej aparatury oraz korzystania z wielu źródeł informacji. Autorka wykorzystwała na raz kilka metod bazujących na nowoczesnej aparaturze tj. MIP, DSC, czy niskotemperaturowa adsorpcja azotu do charakterystyki specyfiki porów w szerszym zakresie ich wymiarów, czego nie można uzyskać stosując każdą z tych metod pojedynczo. Wyniki tych badań mają charakter badań porównawczych, co w dobie zróżnicowanych technik badawczych tej samej cechy, jest niezwykle istotne. Świadomość potrzeby badań porównawczych dobrze świadczy o dojrzałości naukowej Autorki i jej krytycznym podejściu do uzyskiwanych wyników badań.

Przedmiotem badań było 6 rodzajów materiałów o silnie zróżnicowanej strukturze. W pierwszej kolejności badano materiał o stosunkowo prostej mikrostrukturze i precyzyjnie określonej dominującej średnicy porów. Dobór takiego materiału miał na celu dostarczenie dokładnego opisu kinetycznego przemian fazowych, którym podlega woda zawarta w porach. Stąd też program badawczy rozpoczyna się od analizy najprostszego możliwego przypadku - mezoporowatych żeli krzemionkowych, aby stopniowo przejść do rozważań nad bardziej

złożonymi materiałami budowlanymi, a mianowicie zaczynu cementowego i betonu zwykłego z cementu portlandzkiego bez lub z domieszką napowietrzającą. Celowo dokonano takiego wyboru i selekcji materiałów, aby uzyskać możliwie szerokie zróżnicowanie budowy wewnętrznej materiału.

Podjęte w pracy rozważania analizowano w oparciu o program badawczy, który oprócz podstawowych badań mieszanki betonowej, jak zawartość powietrza w mieszance i urabialność, obejmował swym zakresem:

- określenie rozkładu wielkości porów metodą MIP i termoporometrii
- wyznaczenie izoterm sorpcji przy wykorzystaniu niskotemperaturowej adsorpcji azotu
- charakterystyka termodynamiczna rzeczywistego roztworu wypełniającego materiały na bazie cementu w porównaniu z właściwościami wody dejonizowanej. W tym celu wybrano pięć różnych soli nieorganicznych: LiCl, Mg(NO₃)₂, NaCl, KCl, KNO₂, K₂SO₄.
- różnicowa kalorymetria skaningowa w celu określenia kinetyki krystalizacji roztworów w porach żeli krzemionkowych. Jednym z etapów analizy kinetycznej było określenie najbardziej odpowiedniego modelu kinetycznego wykorzystując dwa różne algorytmy, a mianowicie metody Málek i metody Pereza-Maqueda. Autorka skupiła się na histerezie występującej w zaczynie cementowym o różnej zawartości wody. Wykonane badania i analizy umożliwiły Autorce na obronienie pierwszej i trzeciej tezy pracy.

Następnie zbadano wpływ szybkości chłodzenia wody zawartej w porach na stan odkształcenia w pełni nasyconego betonu. Naprężenie powstające w próbkach podczas kolejnych cykli rejestrowane było przez system czujników tensometrycznych. Przyjęto cztery różne prędkości cyklu chłodzenia. Ta część pracy umożliwiła Doktorantce obronienie drugiej tezy recenzowanej rozprawy.

Przyjęty program badań, poparty analizą literatury oraz szczegółowymi planami eksperymentów, jak i same metody badawcze uważam za właściwe. Przyjęty przez Autorkę własny sposób oceny mrozoodporności materiałów cementowych jest oryginalny i pozwolił on na całościowe ujęcie analizowanych zagadnień co świadczy o tym, że Doktorantka musiała wykazać się dużą wiedzą i biegłością w zakresie prowadzenia pracy badawczej jak i modelowania empirycznego.

3.3. Uwagi merytoryczne

Opublikowanie badań Autorki w formie niniejszej rozprawy doktorskiej jest bardzo cenną inicjatywą, która nie tylko porządkuje dotychczasową wiedzę o strukturze, porowatości i mrozoodporności cementowych materiałów budowlanych, ale wytycza jednocześnie kierunki jej dalszych badań i analiz.

Niezależnie od mojej pozytywnej oceny wartości merytorycznej rozprawy doktorskiej, z obowiązku recenzenta wykażę poniżej jej dyskusyjne strony:

- ✓ Przegląd literatury kończy się na str. 75 podrozdziałem: 2.7. Skaningowa kalorymetria różnicowa jako metoda analizy termicznej. Uważam, że Autorka mogła zakończyć obszerne studia literaturowe krótkim podsumowaniem.
- ✓ Ponieważ Autorka nie wyjaśniła w pracy, na jakiej podstawie zaprojektowała receptury betonu, recenzentowi nasuwa się kilka pytań:
 - Na jakiej podstawie Autorka zdecydowała się na przyjęcie wskaźnika $w/c = 0,5$ przy projektowaniu receptur betonów?
 - Na jakiej podstawie sporządzono receptury składu betonu np. rodzaj kruszywa? Może należałoby powołać się na klasy ekspozycji i zalecane wartości graniczne składu betonu z normy PN-EN 206+A1:2016-12: *Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*. Zgodnie z normą minimalna ilość cementu w zależności od klasy ekspozycji XF wynosi od 300 do 340 kg/m^3 betonu. Autorka przyjęła 425 kg/m^3 , co jest oczywiście wartością poprawną, ale należałoby wyjaśnić dlaczego akurat przyjęto o 20-30% więcej ilości cementu, niż jest to wymagane normą. Prawdopodobnie z tego powodu beton C1 nie spełnia wymagań żadnej z klas ekspozycji XF odnośnie minimalnej zawartości powietrza w mieszance, która powinna być $\geq 4\%$. Nie jest to poważna uwaga, dotyczy tylko wyjaśnienia przyjętych założeń.
 - Autorka badając konsystencję mieszanki wg normy PN-EN 12350-2 *Badania mieszanki betonowej. Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka*, mogła podać klasę konsystencji, ponieważ uzyskano dwie różne klasy S3 dla C1 i S4 dla betonu C2.
- ✓ W przypadku zaczynu cementowego podano wymiary próbek w poszczególnych badaniach. Takich danych nie podano w przypadku betonu, chociaż wymiary próbek cylindrycznych są powszechnie znane przez każdego inżyniera budownictwa. Jednak w pracy doktorskiej należało takie dane podać i powołać się na normę PN-EN 12390-2:2019-07 *Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych*.
- ✓ Autorka na str. 88 rozprawy napisała, że: *Każdy rodzaj betonu był reprezentowany przez dwie cylindryczne próbki, jedną przeznaczoną do zamrożenia (z zanurzonym czujnikiem temperatury) i referencyjną (bez czujnika temperatury)*. W związku z tym nasuwa się kolejna uwaga. Wyniki uzyskane z badań betonu nie zostały poddane szczegółowej analizie statystycznej w zakresie ich istotności. Otrzymane wyniki badań należy oceniać statystycznie, określając jednorodność, poziom ufności, prawdopodobieństwo i dokładność oceny przy małej liczbie prób. Zastosowane metody badań i techniki pomiarowe przy wsparciu testów statystycznych umożliwiłyby przeprowadzenie pogłębionych analiz jakościowych i ilościowych.
- ✓ Trudnym zadaniem, które postawiła sobie Autorka była próba oceny mrozoodporności betonu w zależności od struktury porowatości i szybkości chłodzenia. Pewną słabością recenzowanej rozprawy jest brak badań porowatości i wytrzymałości na ściskanie betonu. Należałoby wyjaśnić problem mrozoodporności betonu referencyjnego i modyfikowanego

domieszką napowietrzającą w zależności od wytrzymałości, struktury i innych cech. Mikrostruktura betonu jest inna niż zaczynu, gdyż w betonie mamy do czynienia ze strefą przejściową ITZ (the interfacial transition zone), która występuje w bezpośrednim sąsiedztwie powierzchni ziaren kruszywa. Ze względu na zwiększoną porowatość strefa przejściowa uważana jest powszechnie za najsłabszy element mikrostruktury betonów. Gromadzi się w niej więcej wody zarobowej w związku z mniejszym stopniem upakowania ziaren cementu w tej strefie, niż w pewnej odległości od tej powierzchni. Występowanie zwiększonej ilości etryngitu w strukturze strefy przejściowej betonów może wpłynąć na osłabienie przyczepności zaczynu do kruszywa. Jak wykazali Lo i Cui (Lo and Cui 2004) pory w strukturze etryngitu tworzą sieć i charakteryzują się rozmiarem, z zakresu 0,3 do 1 μm , większym niż graniczny wymiar porów 50 nm wskazany przez Mehtę (Mehta 1986), jako istotny ze względu na przepuszczalność i wytrzymałość. W związku z tym mogą powstawać makroskopowe puste przestrzenie, pory, które są wypełnione powietrzem.

W Załączniku C na str. 150 szczegółowo przedstawiono i przeanalizowano badania mikrostruktury zaczynu przy użyciu trzech wcześniej wymienionych metod. Dlaczego nie wykonano takich badań w przypadku betonu? Bardzo interesujące byłyby badania porowatości, rozkładu porów i dominującej średnicy porów przed i po badaniu mrozoodporności z uwzględnieniem różnych prędkości chłodzenia.

✓ Prognozując mrozoodporność betonu, nie sposób nie odnieść się do jednej z najważniejszych, podstawowej cechy betonu, która bardzo ściśle skorelowana jest z mrozoodpornością, a mianowicie wytrzymałości betonu na ściskanie. Analizując w pracy stan naprężenia-odkształcenia betonu należałoby odnieść wyniki do wytrzymałości na ściskanie, chociażby z tego względu, że domieszka napowietrzająca obniża tę cechę betonu według literatury co najmniej o 5% na każdy 1% zastosowanej domieszki. Autorka mogła wykonać badanie wytrzymałości na ściskanie przed i po całym cyklu mrozoodporności dla wszystkich czterech analizowanych w pracy prędkościach chłodzenia. Prawdopodobnie istniałaby możliwość skorelowania tych wyników z odkształceniami w betonie. Wyniki te miałyby jeszcze większe znaczenie użytkowe.

✓ Zdaniem recenzenta uzupełnieniem badań mikrostruktury mogłyby być analizy mikrostrukturalne wykonane przy wykorzystaniu mikroskopii skaningowej SEM. Porowata struktura zaczynów cementowych, a zwłaszcza betonu o wysokim wskaźniku $w/c = 0,5$, bardzo dobrze prezentuje się w obrazie mikroskopii elektronowej. Metodyka przygotowania próbek do badań SEM wyklucza powstawanie defektów związanych z pęknięciem powierzchni próbek i uznawana jest za metodę, która nie niszczy mikrostruktury materiału. Ponieważ Autorka przeprowadziła szereg badań związanych z mrozoodpornością, ekspansją lodu, można było wykorzystać mikroskopię elektronową w celu przedstawienia struktury betonu przed i po badaniu mrozoodporności przy różnych prędkościach chłodzenia. Ciśnienie krystalizacyjne lodu

powoduje destrukcję materiału, powstają defekty w skali mikro, których zasięg można zaprezentować na obrazach SEM. Mogłyby to być bardzo ciekawe, niespotykane dotąd w literaturze analizy. Uwaga recenzenta nie jest zarzutem stawianym pracy, a raczej sugestią do rozważenia w dalszej działalności naukowej Doktorantki.

✓ Rozdział czwarty to podsumowanie i wnioski. Autorka rozprawy uzyskała oryginalne wyniki, które poddała wnikliwej i krytycznej analizie formułując poprawne wnioski poznawcze. Warto rozważenia byłoby oprócz podsumowania, przedstawienie wniosków w zwartej, syntetycznej formie, co ułatwia zapoznanie się z głównymi osiągnięciami rozprawy.

✓ Na uwagę zasługuje fakt, że Pani mgr inż. Dalia Bednarska widzi potrzebę kontynuacji prac badawczych związanych z mrozoodpornością materiałów budowlanych, a także wpływem warunków zewnętrznych, takich jak temperatura i wilgotność względna na szybkość przemiany fazowej. Bardzo obiecująco przedstawia się plan badań, w tym to, o czym wspominał recenzent wcześniej - wpływ szybkości chłodzenia na stan naprężenie-odkształcenie w porównaniu z wytrzymałością betonu na ściskanie. Wyniki eksperymentów zostaną wykorzystane do opracowania modelu numerycznego opisującego degradację betonu pod wpływem mrozu. Jest to bardzo cenna inicjatywa.

3.4. Uwagi dotyczące układu rozprawy, języka i redakcji pracy

Praca jest kompletna, jej układ jest czytelny, logiczny i prawidłowy. Praca napisana jest w języku angielskim i czyta się ją z zainteresowaniem.

Uważam, że kolejność rozdziałów i podrozdziałów w logiczny sposób przedstawia treści pracy. Chociaż z treści rozdziału 2 jasno wynika problematyka badawcza jaką Autorka przedstawiła w swojej rozprawie. Nasuwa się wniosek, że rozdział ten powinien poprzedzać rozdział 1, w którym zawarto tezy, cel i zakres pracy.

Dobłą praktyką stosowaną przy opracowaniu dysertacji naukowych jest zamieszczenie na początku pracy wykazu najważniejszych oznaczeń. Ułatwia on jednolity opis oznaczeń oraz ułatwia czytelnikowi lekturę rozprawy. W recenzowanej pracy zabrakło tego elementu.

Autorka nie sporządziła spisu rysunków i tablic. Nie jest to oczywiście wymagane, ale spis taki ułatwiłby czytelnikom szybki wgląd do wyników z badań wykonanych w pracy.

Str. 88 – Tabela 3.6. *The compositions of investigated ordinary concrete per 1m³*. Wielkość frakcji „medium aggregate” podano jako 2/18 – powinno być 2/8 mm.

Przedstawione powyżej uwagi nie są istotne z punktu widzenia merytorycznej zawartości pracy i w żaden sposób nie wpływają na jej wysoką ocenę. Uwagi krytyczne recenzenta mogą być pomocne przede wszystkim przy przygotowaniu tekstu celem wydania monografii naukowej.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska posiada potencjał, aby stać się wartościową monografią naukową, z korzyścią zarówno dla Autorki, jak i jej macierzystego ośrodka naukowego.

4. Wniosek końcowy

Opiniowaną pracę oceniam wysoko. Dotyczy to zarówno jej strony naukowej jak i formalnej, które nie budzą zastrzeżeń. Autorka rozprawy wykazała się pracowitością, precyzją w zapewnieniu wiarygodności badań i opracowaniu ich wyników. **Świadczy to o jej umiejętności do samodzielnej pracy naukowej** i rozwiązywania trudnych zagadnień badawczych. Stwierdzam, że rozprawę doktorską można ocenić jako wartościowe podsumowanie osiągnięć badawczych Autorki. Praca wypełnia istniejącą lukę na rynku literatury naukowej z obszaru inżynierii lądowej, uzupełniając braki w zakresie wiedzy o mechanizmie krystalizacji wody wypełniającej szkielet porowatych materiałów budowlanych oraz o wpływie kinetyki tego procesu na odkształcenia powstające w betonie.

Uwagi krytyczne przedstawione w recenzji nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy. Mają one charakter dyskusyjny i porządkujący.

Uważam, że główny cel rozprawy doktorskiej został osiągnięty, a teza pracy obroniona. Przedstawiona rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a Doktorantka udowodniła, że ma wiedzę i posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w deklarowanym zakresie. Rozprawa wykazała bardzo dobrą ogólną wiedzę Autorki w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport.

Uważam, że praca Pani mgr inż. Dalii Bednarskiej w pełni zasługuje na wyróżnienie zarówno pod względem naukowym, praktycznym, jak i publikacyjnym.

W związku z powyższym uważam, że recenzowana praca doktorska spełnia wszystkie wymagania przewidziane przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 r. (Dz. U. nr 65 poz. 595 z późn. zmianami) oraz Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19.01.2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 19.01.2018, poz. 261) i **wnoszę wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.**



Danuta Barnat-Hunek