

Saint-Nazaire, 16 września 2024 r.

Dr hab. inż. Marta CHOINSKA COLOMBEL

Nantes Université, IUT de Saint-Nazaire

GeM UMR CNRS 6183

58, rue Michel Ange

44600 SAINT-NAZAIRE

FRANCJA

e-mail : marta.choinska@univ-nantes.fr

### **Recenzja rozprawy doktorskiej**

**mgr inż. Kaliny Materak**

#### **pt. “Wpływ hydrofobizacji objętościowej związkami krzemoorganicznymi na właściwości i trwałość materiałów cementowych”**

### **1. Podstawa opracowania recenzji**

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo Przewodniczącego Rady do spraw Stopni Naukowych w dyscyplinach Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, Architektura i Urbanistyka Politechniki Łódzkiej, prof. dr hab. inż. Dariusza Gawina, z dnia 09 lipca 2024 r., wynikające z uchwały Nr 2.10/56/2024 tejże Rady, powołującej mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Kaliny Materak.

### **2. Ogólna charakterystyka rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska liczy 252 strony, w tym 18 stron bibliografii, zawierającej 282 pozycje literatury i norm, i 55 stron załączników.

Rozprawa składa się z dziewięciu rozdziałów dotyczących: Wprowadzenia (1), Wstępu teoretycznego (2), Zastosowanych materiałów i ich charakterystyki (3), Badań eksperymentalnych (4), Badanych materiałów (5), Wyników badań eksperymentalnych (6), Materiałów cementowych z dodatkami mineralnymi (7), Wniosków końcowych (8) i Załączników (9). Rozprawa posiada streszczenie w języku polskim, jak również w języku angielskim.

Praca Pani mgr inż. Kaliny Materak ma charakter czysto doświadczalny i dotyczy ważnego zagadnienia hydrofobizacji objętościowej związkami krzemoorganicznymi materiałów cementowych, jak również i jej wpływu na właściwości i trwałość materiałów cementowych.

### 3. Ocena merytoryczna pracy

Temat pracy jest aktualny i dotyczy ważnego zagadnienia mającego na celu przedłużenie trwałości nowych konstrukcji betonowych poprzez ich hydrofobizację. Jest to jedna z metod zabezpieczenia materiału przed szkodliwym działaniem wody i wilgoci, a więc przed czynnikami prowadzącymi do korozji materiałów budowlanych. Autorka proponuje hydrofobizację (głównie objętościową, ale również i powierzchniową) związkami krzemooorganicznymi na bazie silanu (trietoksyoktylosilanu), podkreślając że dane w literaturze są rozproszone lub nawet nieistniejące w wielu kwestiach.

Autorka niniejszej dysertacji sformułowała bardzo poprawnie cztery tezy, które zostały szczegółowo zbadane w jej pracy:

1. Stosowanie trietoksyoktylosilanu w celu hydrofobizacji objętościowej porowatych materiałów cementowych jest skuteczną i efektywną metodą ochrony przed wodą.
2. Hydrofobizacja objętościowa poprawia trwałość materiałów na bazie cementu zapewniając im mrozoodporność, odporność na wnikanie wody pod ciśnieniem oraz ograniczenie procesu karbonatyzacji.
3. Stosowanie domieszek na bazie trietoksyoktylosilanu wpływa na hydratację spoiwa powodując zmiany w przebiegu hydratacji, struktury wewnętrznej i właściwości mechanicznych materiałów cementowych.
4. Hydrofobizacja objętościowa materiałów cementowych z dodatkami mineralnymi w postaci pyłu krzemionkowego i granulowanego mielonego żużla wielkopieczowego jest możliwa. Zastosowanie trietoksyoktylosilanu zapewnia skuteczną i efektywną hydrofobizację w masie materiałów z dodatkami mineralnymi, jednocześnie wpływając na proces hydratacji spoiwa i późniejsze właściwości materiału.

Podejście autorki do problematyki jest multiskalowe (zaczyn - zaprawa - beton). Metody badawcze są szeroko i starannie dobrane, wykorzystane i opisane. Wyniki badań są dyskutowane na tle doniesień literaturowych, co bardzo wzbogaca analizę wyników. Z kolei załączniki kompletują rozsądnie i oczekiwane otrzymane rezultaty.

Podczas recenzji niniejszej pracy, nasuwają się następujące spostrzeżenia, zapytania i komentarze:

Wiedząc że głównym celem pracy Pani mgr inż. Kaliny Materak jest wydłużenie trwałości nowych materiałów cementowych poprzez ich hydrofobizację, interesujące byłoby oszacowanie wpływu na środowisko proponowanych domieszek hydrofobizujących, w tym ich śladu węglowego, związanego z ich produkcją, jak również i ich wpływu na ekosystemy wodne. Czytelnik oczekuje również opinii na temat kosztów tych domieszek, w porównaniu np. do domieszek upłynniających.

Załącznik pierwszy przedstawia wstępne badania pozwalające najlepiej dobrać domieszki hydrofobizujące. Niestety, brakuje analizy porównawczej wyników otrzymanych dla trzech badanych wstępnie domieszek. Zwięzłą analizę na ich temat warto byłoby dołączyć do głównej części dysertacji, zastępując nią skrótową informację na stronie 67.

Analizując niniejszą dysertację, nie znajdujemy niestety informacji na temat doboru składników materiałów cementowych:

- Nie znajdujemy uzasadnienia wyboru cementu CEM I 42,5R. Co prawda, wiadomo że faza klinkierowa ma maksymalny wpływ na rozwój wytrzymałości i trwałości materiałów cementowych, ale dzisiejsze tendencje skłaniają nas do zainteresowania się innymi cementami. Biorąc pod uwagę fakt że cementy klasy CEM I posiadają zbyt wysoki ślad węglowy, przez co nie są a priori cementami przyszłościowymi, interesująca byłaby refleksja nad cementami innej klasy (CEM II, III,...). Oczywiście, warty podkreślenia jest fakt że autorka podjęła się pracy nad materiałami z dodatkami mineralnymi, które sama dozowała jako substytut cementu CEM I: granulowany żużel wielkopieczowy (50%) i mikrokrzemionkę (10%).

-Na jakiej podstawie dokonano wyboru kruszywa, opisanego na stronie 66? W jakim stopniu natura geologiczna i typ kruszywa (łamane bądź otoczakowe) może wpływać na właściwości i trwałość hydrofobizowanych materiałów cementowych? Jakie następstwa może mieć używanie kruszywa z recyklingu betonów (kruszywa o podwyższonej porowatości i absorpcji wody) na skuteczność hydrofobizacji? Czy można liczyć na otrzymanie podobnego poziomu absorpcji kapilarnej wody jak w betonach z kruszywem naturalnym?

Podrozdział 2.4 „Trwałość materiałów cementowych” jest interesujący, aczkolwiek bardzo sumaryczny. Brakuje w nim doniesień literaturowych dotyczących skali czasowej okresu użytkowania materiałów i rozprzestrzeniania się zniszczeń (cf. np. *M. Alexander & H. Beushausen, “Durability, service life prediction, and modelling for reinforced concrete structures – review and critique”, Cement and Concrete Research, 2019*). Poza tym, autorka dysertacji informuje że rozpuszczalne chlorki z wody morskiej lub sole odladzające mogą przedostawać się do porów betonu i zwiększać szybkość korozji zbrojenia stalowego. Warto byłoby dodać komentarz że ten typ korozji dotyczy większości (ok. 75%) problemów trwałościowych betonów zbrojonych i (również) prowadzi do pęknięć i rys w materiale w wyniku wzrostu objętości produktów korozji (cf. np. *J. Chen et al., “Development of admixtures on seawater sea sand concrete: A critical review on Concrete hardening, chloride ion penetration and steel corrosion, Construction and Building Materials, 2024*). Dobrze byłoby wspomnieć że odpowiednio dobrana grubość i jakość otuliny betonowej uczestniczą w ochronie zbrojenia przed korozją.

W podrozdziale 2.5, przy opisach różnych typów korozji, np. korozji siarczanowej, i ich oczekiwanych efektów, należałoby uwzględnić odniesienia do literatury naukowej (cf. np. *H. Siad et al., “Characterization of the degradation of self-compacting concretes in sodium sulfate environment: Influence of different mineral admixtures”, Construction and Building Materials, 2013* ; *S. Boudache et al., “Towards common specifications for low- and high-expansion cement-based materials exposed to external sulphate attacks”, Construction and Building Materials, 2021*) (np. wraz z graficznymi przedstawieniami zniszczeń i przykładami dotkniętych konstrukcji), oprócz odniesień normowych.

W Rozdziale 4, badania MIP zostały wykonane m.in. na próbkach zaczynów. Autorka rozprawy przytacza ich wymiary (na stronie 73 i 77): 24 mm X 1 mm, uzyskane po wycięciu z próbek o wymiarach 24 mm X 45 mm. Recenzent prosi o wyjaśnienie geometrii próbek (brakuje trzeciego wymiaru).

Dlaczego próbki zaczynów cementowych nie były tak samo przygotowane do badań MIP lub DVS (suszenie próżniowe 30°C), jak i do badań SEM (suszenie 60°C)? Temperatura suszenia zazwyczaj wpływa na stan mikrostruktury materiału (cf. *X. Wang et al., “Influence of low vacuum and high temperature condition on moisture transport and dry shrinkage of mature concrete”, Journal of Building Engineering, 2024*).

Jaka jest geometria próbek betonowych przeznaczonych do pomiaru wytrzymałości na ściskanie (strona 83)? Informacji brakuje również w załączniku IV. Autorka wspomina w dalszej części dysertacji (kilka stron później, strona 88) sześciennie próbki, przeznaczone do badania absorpcji kapilarnej wody w betonie, ale nie jest jasne czy chodzi o kostki 150x150x150 mm<sup>3</sup> czy też 100x100x100 mm<sup>3</sup>?

Autorka dysertacji proponuje badania głębokosci przyspieszonej karbonatyzacji w betonie. Biorąc pod uwagę czas trwania pracy doktorskiej, jest to oczywiście bardzo dobry wybór. Aczkolwiek, byłoby interesujące podanie relacji z literatury wiążących karbonatyzację przyspieszoną z naturalną (cf. *R. Neves et al., “Field assessment of the relationship between natural and accelerated concrete carbonation resistance”, Cement & Concrete Composites, 2013* ; *S. Rathnarajan et al., “Carbonation model for concretes with fly ash, slag, and limestone calcined clay - using accelerated and five - year natural exposure data”, Cement and Concrete Composites, 2022*).

Autorka dysertacji twierdzi, opierając się na publikacji Neville, że wpływ na przepuszczalność betonu może mieć m.in. rodzaj zastosowanego kruszywa. Czy autorka ma na myśli naturę geologiczną kruszywa czy też jego typ (łamane bądź otoczkowe)? Warto byłoby wspomnieć wpływ kruszywa na własności strefy przejściowej (ITZ) w zaprawach i betonach i zatem wpływ na strukturę wewnętrzną materiału (cf. np. *K. Wu et al., "Microstructural characterization of ITZ in blended cement concretes and its relation to transport properties", Cement and Concrete Research, 2016*). Poza tym, warto byłoby dodać, że na oszacowanie przepuszczalności betonu wpływ ma również jego stopień nasycenia cieczą lub gazem (przepuszczalność relatywna, cf. np. *W. Chen et al., "Water retention and gas relative permeability of two industrial concretes", Cement and Concrete Research, 2012* ; *Kameche et al., "Assessment of liquid water and gas permeabilities of partially saturated ordinary concrete", Construction and Building Materials, 2014*).

W kwestiach eksperymentalnych, przy aplikacji wody pod ciśnieniem na powierzchnię betonu, zagadnienie szczelności między próbką a ściankami urządzenia do badania wodoprzepuszczalności jest istotnym punktem, szczególnie w przypadku próbek sześciennych. Schematyczne przedstawienie urządzenia ułatwiłoby, choćby częściowo, odpowiedź na pytanie w jaki sposób ta szczelności jest realizowana.

Większość przedstawionych w dysertacji badań jest oparta na rekomendacjach normowych. Aczkolwiek, w niniejszej rozprawie, w niektórych przypadkach, odstępstwa od badań normowych mają miejsce i są przekonująco przedstawione (np. wydłużenie czasu kondycjonowania próbek zapraw do badań absorpcji kapilarnej, lub wydłużenie czasu kondycjonowania próbek betonowych do badania odporności na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie w obecności soli odładzających).

W rozdziale 6, rezultaty dotyczące hydrofobizacji zaczynów są przedstawione na początku rozdziału. Wyniki są przedyskutowane po każdym badaniu, a następnie autorka bardzo trafnie proponuje syntetyczną dyskusję wszystkich otrzymanych wyników w oparciu o doniesienia z literatury. Te częściowe wnioski wskazują na wpływ domieszek hydrofobizujących na spowolnienie hydratacji spoiwa, jak również na zmiany w strukturze wewnętrznej zaczynów cementowych (pojawienie się porów o większych średnicach), ale i pozwalają częściowo zatwierdzić tezy 1 i 3 postawione przez autorkę, dotyczące skuteczności domieszek na bazie trietoksyoktylosilanu do hydrofobizacji materiałów cementowych, potwierdzonej wynikami sorpcji i kątem zwilżania. Bardzo interesująca i przekonująca jest uwaga dotycząca zmniejszenia ilości wolnej wody w materiale (analiza termiczna) poprzez wykorzystanie jej w reakcji hydrolizy silanu do silanoli.

W kwestii zapraw, autorka ponownie uzyskuje interesujące i przekonujące wyniki, które, mimo że potwierdzają tezy 1 i 3 poprzez ograniczenie absorpcji kapilarnej wody w materiale i w niektórych przypadkach zmniejszenie całkowitej powierzchni porów, to wskazują na negatywne zmiany rozkładu porów jak również i na spadek wytrzymałość na ściskanie zapraw hydrofobizowanych.

Autorka obserwuje również że sposób kondycjonowania próbek zapraw, przed badaniem absorpcji kapilarnej wody w materiale, ma wpływ na skuteczność hydrofobizacji. Okazuje się że próbki, poddane suszeniu w 60°C, po 28 dniach dojrzewania w wodzie, charakteryzują się zwiększoną absorpcją, w porównaniu do próbek dojrzewających przez 14 dni w wodzie a następnie przechowywanych przez kolejne 14 dni w warunkach powietrzno-suchych. Nasuwa się naturalne pytanie czy ten efekt byłby podobny w przypadku suszenia w niższej temperaturze niż 60°C (np. suszenie próżniowe w 30°C). Najprawdopodobniej, powstanie rys i mikropęknięć przy niższej temperaturze powinno być bardziej ograniczone poprzez ograniczenie różnic odkształceń związanych z ekspansją termiczną zaczynu cementowego i piasku (kwarcowego). Czy na podobne rezultaty powinniśmy liczyć dla zapraw, np. z piaskiem wapiennym? Czy krzemorganiczne domieszki hydrofobizujące, przy zmianie natury kruszywa, mogą negatywnie wpływać na strefę przejściową zaczyn-kruszywo (ITZ) w zaprawach lub betonach?

Wyniki otrzymane na betonach potwierdzają skuteczność hydrofobizacji objętościowej na bazie trietoksyoktylosilanu, jak również i (częściowo) powierzchniowej, wskazując na obniżenie absorpcji kapilarnej wody w materiale. Otrzymane wyniki potwierdzają tendencje z doniesień z literatury. Recenzent sugeruje, aby autorka przytoczyła więcej szczegółów z badań z dostępnej literatury, w przypadku których notowane były jeszcze niższe wartości absorpcji kapilarnej wody, niż te otrzymane przez autorkę. Podobna sugestia dotyczy prac badawczych opisanych w literaturze i dotyczących spadku wytrzymałości na ściskanie. Podsumowanie tych prac (mimo licznych różnic w składach materiałowych), np. przy pomocy tabeli, byłoby interesującym sposobem zestawienia wyników autorki i literaturowych, które mogłyby następnie być wykorzystane np. do publikacji typu „state of the art”. Takie podsumowanie pozwoliłoby lepiej uwydatnić rezultaty uzyskane przez autorkę, podkreślając ich wkład w zrozumienie problematyki hydrofobizacji domieszkami na bazie silanu.

Paragraf o mrozoodporności wewnętrznej betonów (strona 125) uwydatnia oryginalne wyniki dotyczące efektywności domieszek hydrofobizujących po 100 i 150 cyklach mrozowych. Autorka podkreśla że hydrofobizacja powierzchniowa, w przeciwieństwie do hydrofobizacji objętościowej (jak również i w przeciwieństwie do wyników hydrofobizacji powierzchniowej otrzymanych po 100 cyklach mrozowych), zupełnie nie zapewnia ochrony przed absorpcją kapilarną wody po 150 cyklach mrozowych. Otrzymane wyniki są w zgodzie z tendencją obserwowaną dla wytrzymałości na ściskanie, jak również i dla głębokości karbonatyzacji czy też głębokości wnikania wody pod ciśnieniem. Powodem intensywnej eskalacji zniszczenia betonu hydrofobizowanego powierzchniowo pomiędzy 100 a 150 cyklem mrozowym jest najprawdopodobniej zniszczenie powłoki ochronnej w wyniku cyklicznego działania ujemnych temperatur, jak również i uszkodzenia struktury wewnętrznej materiału. Czy rysy lub inne zniszczenia były widoczne na powierzchni próbek (nie będąc widoczne na przetłomach, cf. Rys. 6.18 E)?

Z czym może być związana różnica w profilu głębokości wnikania wody (cf. Rys. 6.20 C i D lub Rys. 6.22 B i C)? Czy ta głębokość nie zależy również od lokalnych warunków bocznego uszczelnienia próbki kostkowej?

Podsumowując rozdział 6, należy podkreślić iż uzyskane przez autorkę dysertacji wyniki potwierdzają tezę 2, w szczególności dla jednej z proponowanych domieszek hydrofobizujących, dozowanej objętościowo.

W rozdziale 7 autorka dysertacji udowodniła tezę 4, na poziomie zaczynów i zapraw z dodatkami mineralnym: żużla wielkopieczowego i mikrokrzemionki. Badania na betonach z dodatkami mineralnymi, w tym badanie trwałościowe, należą do perspektyw niniejszej rozprawy doktorskiej. Mimo iż to nie jest bezpośredni cel pracy, brakuje w tym rozdziale interesującego zestawienia rezultatów dotyczących m.in. wyników badań porowatości MIP trzech rodzajów zaczynów referencyjnych (ze spoiwem CEM I, CEM I + żużel, CEM I + mikrokrzemionka). Tym samym, interesujące byłoby porównanie absorpcji kapilarnej wody i wytrzymałości na ściskanie trzech rodzajów zapraw referencyjnych (CEM I, CEM I + żużel, CEM I + mikrokrzemionka), aby móc następnie łatwiej uwypuklić skuteczność hydrofobizacji każdego z tych materiałów.

Biorąc pod uwagę podejście multiskalowe dysertacji do problematyki hydrofobizacji, w jaki sposób wyniki uzyskane na różnych skalach materiału, takich jak zaczyn, zaprawa czy beton, mogą zostać wykorzystane do modelowania predykcyjnego trwałości betonu hydrofobizowanego?

Pośród dalszych kierunków badań, proponowanych przez autorkę, pojawia się przepuszczalność materiałów cementowych hydrofobizowanych. Interesującym badaniem byłaby, oprócz wodoprzepuszczalności, gazoprzepuszczalność, która wraz z paroprzewodnością, pozostaje kluczowa dla oszacowania trwałości konstrukcji, komfortu użytkowników, bezpieczeństwa oraz energooszczędności obiektów budowlanych. Pośród innych kierunków badań mógłby znaleźć się również wpływ kontrolowanego mikrozarysowania (więc wpływ na porowatość, rozkład, kształt i przede wszystkim ciągłość “porów”) na właściwości i trwałość materiałów hydrofobizowanych (cf. np. C. Schrofl, “Transport of water

*through strain-hardening cement-based composite (SHCC) applied on top of cracked reinforced concrete slabs with and without hydrophobization of cracks – Investigation by neutron radiography”, Construction and Building Materials, 2015).*

#### 4. Ocena strony formalnej pracy

Praca jest napisana dobrą polszczyzną, bardzo zrozumiale i starannie. Większość uwag dotyczących aspektów formalnych pracy wynika z osobistych preferencji recenzenta, jednak mają one na celu wzbogacenie i udoskonalenie rozprawy. Sugerowane poprawki powinny przyczynić się do podniesienia jakości i przejrzystości pracy:

- Spis treści jest bardzo generalny. Recenzent sugeruje wprowadzenie kolejnego poziomu prezentacji podrozdziałów, tak aby czytelnik mógł łatwiej odnaleźć informacje dotyczącą np. hydrofobizacji objętościowej lub powierzchniowej, bądź też związków krzemoorganicznych.
- Skądinąd, opisy związków krzemoorganicznych pojawiają się w dwóch miejscach, na stronie 32 i na stronie 55. Czy nie należałoby ich raczej opisać w jednym paragrafie, którego to tytuł figurowałby w spisie treści rozdziału 2?
- W pierwszym rozdziale « Wprowadzenie », autorka pisze, że rozprawa doktorska składa się z trzech części. Aby łatwiej byłoby te części zidentyfikować, recenzent sugeruje zamieszczenie ich w spisie treści.
- Wszystkie podrozdziały rozdziałów 4, 5 i 6 są trzykrotnie identyczne. Recenzent rozumie intencje autorki, aczkolwiek proponuje wprowadzenie zmian na tym poziomie, aby uniknąć efektu « powtarzalności » wobec czytelnika.
- Tytuły podrozdziałów są zbyt słabo wyróżnione i postają niewidoczne w treści tekstu. Recenzent proponuje aby zapisać je inną czcionką np. pogrubioną i pochyłą, co pozwoliłoby na ich łatwiejszą identyfikację w tekście i czytelność.
- Bibliografia jest bardzo bogata i zawiera liczne międzynarodowe pozycje literaturowe, w tym z ostatnich lat. Według recenzenta, interesująco byłoby rozdzielić publikacje naukowe od norm i kart charakterystyk.
- W rozdziale 2 « Wstęp teoretyczny », autorka wspomina że do tej pory nie wykazano że hydrofobizacja chroniłaby przed wodą działającą pod ciśnieniem, przytaczając dwa odniesienia bibliograficzne. W kolejnym zdaniu, autorka informuje że wyniki przedstawione w niniejszej pracy mogą sugerować że hydrofobizacja objętościowa ogranicza wnikanie wody pod ciśnieniem w materiał cementowy. Czy nie za szybko są przytoczone te wnioski, skoro znajdujemy się (dopiero) na etapie wstępu teoretycznego?
- Rozdział 3 przypomina « katalog » materiałów. Część danych z tego rozdziału mogłaby się znaleźć w załącznikach, co ułatwiłoby czytelność rozdziału bez obciążenia go nadmiernie.
- W podrozdziale 3.3, autorka przedstawia wykorzystane krzemoorganiczne środki hydrofobizujące. W tekście mowa jest o trzech środkach, a w tabeli o czterech (H1, H2, H3, HP). Należy uzupełnić brakujące informacje w tekście na temat impregnatu powierzchniowego HP.
- Autorka pisze, na stronie 74, że masa próbki wynosiła około 10 – 30 mg. Recenzent sugeruje zapisać że masa próbki wynosiła między 10 a 30 mg.
- Zauważa się braki znaków interpunkcji (przecinków), których obecność w długich zdaniach pozwoliłaby na łatwiejszą czytelność dokumentu, np. w trzeciej i czwartej linii od góry na stronie 74, w trzeciej linii od dołu na stronie 94, na stronie 158 (11-ta i 12-ta linia od góry) bądź 168 (14-ta i 15-ta linia od dołu) czy 169 (4-ta linia od góry, 7-ma i 8-ma linia od dołu).

- Poza tym, nieliczne literówki wdały się w tekst na następujących stronach:

- 19 jest: *niemniejszej* - ma być: *niniejszej*
- 33 jest: *podstwanik* - ma być: *podstawnik*
- 42 jest: *rekcjach* - ma być: *reakcjach*
- 60 problem z układem strony, 8-ma linia od dołu
- 82 jest: *porozymetryczna* - ma być: *porozymetryczną*
- 82 jest: *Tabeli* - ma być: *Tabela*
- 89 jest: *zamrazanie i rozmarzanie* - ma być: *zamrażanie i rozmrażanie*
- 119 jest: *suszeniu* - ma być: *suszenia*
- 158 jest: *możliwość* - ma być: *możliwości*
- 168 zwrot *ich ogranicza* jest zbędny.

## 5. Wniosek końcowy

Recenzowaną rozprawę doktorską oceniam bardzo wysoko. Autorka, korzystając z metodyki opartej w pełni na podejściu eksperymentalnym, z powodzeniem potwierdziła wszystkie postawione tezy badawcze. Wykazała się nie tylko głęboką znajomością literatury i teorii, ale także niezwykłą pracowitością oraz umiejętnością prowadzenia badań i analiz naukowych na najwyższym poziomie. Szczególnie godne podkreślenia jest jej dojrzałe spojrzenie na złożoną problematykę materiałów cementowych oraz zagadnienia ich trwałości, w kontekście hydrofobizacji.

W świetle powyższego, uznaję, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Kaliny Materak w pełni spełnia wszelkie wymagania stawiane pracom doktorskim i zasługuje na dopuszczenie do publicznej obrony. Co więcej, opierając się na argumentach przedstawionych w niniejszej recenzji, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.

Dr hab. inż. Marta CHOINSKA COLOMBEL

