Dr hab. inż. Zbigniew Perkowski, prof. uczelni
Politechnika Opolska
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Fizyki Materiałów
Katowicka 48, 45-061 Opole
tel.: 77 449 85 57
e-mail: z.perkowski@po.edu.pl

Opole, 15.03.2025 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Małgorzaty Katarzyny Szafraniec pt. „*Właściwości betonu modyfikowanego związkami krzemoorganicznymi oraz nanocelulozą*”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę formalną recenzji stanowi pismo z dnia 09.01.2025 r., skierowane do mnie przez zastępcę przewodniczącego ds. postępowań awansowych Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, Pana dra hab. inż. Tomasza Lipeckiego, prof. uczelni, z informacją o powołaniu mnie, zgodnie z Uchwałą Rady nr 2024/XII/05 z dnia 18.12.2024 r., na recenzenta rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Małgorzaty Katarzyny Szafraniec pt. „*Właściwości betonu modyfikowanego związkami krzemoorganicznymi oraz nanocelulozą”*. Do pisma załączono kopię pracy doktorskiej i stosowne dokumenty. Promotorem rozprawy jest Pani dr hab. inż. Danuta Barnat-Hunek, prof. uczelni, a promotorem pomocniczym Pan dr inż. Jacek Góra.

Niniejsza opinia pracy doktorskiej została sporządzona, biorąc pod uwagę art. 187 Ustawy z dn. 20 lipca 2018 r. – „*Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*” z późniejszymi zmianami.

2. Układ i zawartość rozprawy

Rozprawa doktorska liczy 282 strony i składa się kolejno z następujących części: oznaczenia skrótów i symboli, streszczenia w języku polskim i angielskim, 8 rozdziałów (łącznie ze wstępem i podsumowaniem), bibliografii, wykazu norm i wytycznych, spisu tabel i rysunków oraz załączników. W pracy zamieszczono ponumerowanych: 135 rysunków, 4 fotografie, 71 tabel, 22 wzory, 503 przypisy bibliograficzne (w tym 24 normatywy i wytyczne, 3 strony internetowe z opisami patentowymi) i 94 załączniki (w tym 92 rysunki, 2 tabele).

We wstępie (str. 14-15) przedstawiono zwięźle przedmiot, kontekst i cel pracy. Podkreślono widoczne w obecnych badaniach duże zainteresowanie hydrofobizacją betonu, która odpowiednio zastosowana prowadzi do zwiększenia trwałości tego materiału, jednak z drugiej strony w wielu przypadkach obniża wytrzymałość końcową. Stanowi to wyzwanie do poszukiwania takich domieszek, które będą przeciwdziałać temu niekorzystnemu procesowi. Z tego powodu Doktorantka zdecydowała się przeprowadzić własne badania nad łącznym wykorzystaniem nanocelulozy i związków krzemoorganicznych, co z uwagi na pochodzenie naturalne celulozy może nieść ze sobą także korzyści „środowiskowe”.

Rozdział 2 (str.16-62) stanowi gruntowny przegląd literatury. Czytelnikowi przybliżony zostaje obecny stan wiedzy na temat struktury i trwałości betonu, hydrofobizacji kompozytów cementowych (w szczególności za pomocą środków krzemoorganicznych) i celulozy mikrokrystalicznej. Kluczowy w tej części pracy jest podrozdział 2.5, w którym wyczerpująco opisano raportowany wpływ związków krzemoorganicznych i nanocelulozy na materiały o matrycy cementowej. W rezultacie Kandydatka wykazała lukę badawczą związaną z brakiem badań wpływu tych domieszek, kiedy stosuje się je jednocześnie. Podkreśliła jednocześnie, ze odpowiednie stosowanie nanocelulozy prowadzące do zwiększenia wytrzymałości i trwałości materiałów cementowych może także zaradzić

niekorzystnym efektom hydrofobizacji strukturalnej, które są związane z częściowym blokowaniem hydratacji spoiwa.

Rozdział 3 (str. 62-63) jest niejako ukoronowaniem poprzedniego, gdyż, nawiązując do wykazanej luki badawczej, Doktorantka formułuje następującą tezę: „*Przewiduje się, że beton modyfikowany związkami krzemoorganicznymi i nanocelulozą będzie charakteryzował się większą trwałością od betonu bez tego typu modyfikacji.*" Następnie nakreśla zakres prac, które przeprowadziła w celu zbadania prawdziwości postawionej tezy, a także nowości naukowe, które zostały osiągnięte.

Rozdział 4 (str. 63-80) stanowi wprowadzenie do dalszej części rozprawy poświęconej opisowi własnych wyników eksperymentalnych. Autorka uszczegóławia w nim plan badań, określając co będzie mierzone i w jaki sposób (na podstawie odpowiednich normatywów) oraz jak będą analizowane wyniki ze statystycznego punktu widzenia (test ANOVA Welcha, test t Studenta z poprawką Holma).

W rozdziale 5 (str. 80-104) Doktorantka przedstawiła charakterystykę wykorzystywanych w badaniach materiałów i sposób preparacji środków hydrofobizujących z nanocelulozą wg własnego pomysłu. W pierwszej kolejności opisano recepturę betonu (z kruszywem żwirowym o w/c=0,55) wraz z uzasadnieniem jej przyjęcia, gdzie słusznie zastosowano CEM I i domieszkowano tylko związki krzemoorganiczne i celulozę, tak aby nie zakłócać interpretacji wyników możliwym wpływem innych stosowanych obecnie domieszek i dodatków. Następnie omówiono wybrane do testów środki krzemoorganiczne (wodną emulsję z wielofunkcyjnym system silanowym (CIT), wodną emulsję z silanami organofunkcjonalnymi (WS405), oligomeryczny krzemian propylowy (WS808), wodną emulsję silanową (SC30)) oraz nanocelulozy (fibrylarna nanoceluloza krystaliczna z marchwi (NK) i jabłek (NF), nanoceluloza z pulpy drzewnej (NKD) o nieregularnych kształtach kryształów, spreparowana samodzielnie nanoceluloza z makulatury o kryształach zbliżonych kształtem do prostokątów (NP)). Co istotne, próbki NP poddano wnikliwym i zaawansowanym badaniom morfologicznym, które pozwoliły potwierdzić „prostokątny" kształt kryształów i oszacować rozkład ich wielkości w skali nanometrycznej. Ponadto wykonano pomiary sorpcji/desropcji azotu przez NP w celu charakteryzacji porowatości i określono stabilność termiczną w zakresie do 600^{o}C, wykazując intensywną pirolizę w temperaturze ok. 360^{o}C. Na końcu rozdziału Autorka przedstawiła proces wytwarzania za pomocą homogenizacji ultradźwiękowej nowych preparatów hydrofobizujących, które stanowiły mieszaninę 1:1 środków ze związkami krzemoorganicznymi i wodnych zawiesin nanocelulozy o stężeniu wag. 0,2%. Podane zostały także lepkości i gęstości wszystkich domieszkowanych do betonu środków.

Rozdział 6 (str. 105-106) to opis przygotowania do badań bardzo zróżnicowanych serii próbek betonu referencyjnego, 14 betonów hydrofobizowanych strukturalnie i 7 powierzchniowo – zarówno tylko środkami krzemoorganicznymi jak i w połączeniu z nanocelulozą. Oznaczenie betonu referencyjnego przyjęto jako W, a betonów modyfikowanych symbolami domieszek z podaniem ich procentu wagowego w stosunku do masy cementu lub stopnia rozcieńczenia. Tak samo będą one opisywane w dalszej części recenzji.

Rozdział 7 (str. 107-200) stanowi najważniejszą część rozprawy. Dotyczy on szczegółowego omówienia własnych wyników eksperymentalnych i ich analizy, gdzie mierzalne efekty modyfikacji betonu oceniano testem ANOVA Welcha, a po stwierdzeniu istotnych statystycznie różnic między średnimi prowadzono dalej analizę *post-hoc*. Z uwagi na obszerność materiału Autorka słusznie zdecydowała się po prezentacji każdej grupy wyników na osobną ich analizę z przywołaniem powiązanych tematycznie publikacji i porównaniem rezultatów innych badaczy z własnymi obserwacjami.

W badaniach świeżych mieszanek betonów uwzględniono pomiary gęstości, zawartości powietrza i konsystencji metodą Ve-Be oraz krzywe kalorymetryczne.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że badania betonów stwardniałych obejmowały bardzo szeroki program testów, bowiem Autorka określała ich: gęstość, gęstość objętościową, porowatość całkowitą i otwartą, szczelność, objętość porów otwartych, nasiąkliwość wagową i powierzchniową, wskaźnik nasiąkliwości wagowej i powierzchniowej, współczynnik nasiąkliwości kapilarnej, zdolność do odparowania wody, odporność na krystalizację soli, współczynnik oporu dyfuzyjnego pary wodnej, głębokość penetracji wody pod ciśnieniem, kąt zwilżania i powierzchniową energię swobodną przed i po starzeniu w ultrafiolecie, profile powierzchni wraz z ich charakterystykami, charakterystykę porów za pomocą nanotomografii i porozymetrii rtęciowej, 28-dniową wytrzymałość na ściskanie

i mrozoodporność. Doktorantka badała także morfologię powierzchni (SEM), skład pierwiastkowy (EDS) i skład chemiczny (XRF i XRD) betonów,

Na podstawie zebranych wyników wykazano podniesienie 28-dniowej wytrzymałości na ściskanie betonów modyfikowanych strukturalnie NP-1.0 i WS808-NP-0.5 odpowiednio o 10% i 17% w porównaniu do betonu W. Pozostałe modyfikacje strukturalne spowodowały obniżenie wytrzymałości nawet o ok. 40%. Pomimo zastosowania 150 cykli mrozowych betony NP-1.0 i WS808-NP-0.5 wykazywały średnio dalej wzrost swojej wytrzymałości w stosunku do 28-dniowej odpowiednio o 3% i 20%, podczas gdy w betonie W było to zmniejszenie o 5%, a w przypadku pozostałych modyfikacji, zarówno strukturalnych jak i powierzchniowych, były to spadki od 16% do 82%. Doktorantka potwierdziła także, że choć hydrofobizacja powierzchniowa zaraz po wykonaniu zabiegu daje przeważnie najkorzystniejsze rezultaty w kształtowaniu nasiąkliwości, to efekty te nie są już tak spektakularne w kontekście degradacji mrozowej i starzenia naniesionej powłoki promieniowaniem ultrafioletowym. Autorka za pomocą zaawansowanych technik pokusiła się o zilustrowanie przyczyn obserwowanych zmian na podstawie analizy mikro- i nanostruktury betonów. W tym zakresie szczególnie interesujące są porównawcze badania stosunków atomowych Al/Ca i Si/Ca w powiązaniu z oceną zawartości faz LD C-S-H (o niższej gęstości) i HD C-S-H (o wyższej gęstości) i ich wpływem na kształtowanie wytrzymałości betonów W, NP-1.0 i WS808-NP-0.5. Ponadto Doktorantka określiła zmiany zawartości wagowej CaO i SiO_2, wykazując większy udział SiO_2 w NP-1.0 i WS808-NP-0.5 w porównaniu do W, a mniejszy w przypadku pozostałych betonów. Z kolei morfologia powierzchni matrycy cementowej betonów wykazała na obrazach SEM znaczne zmiany jak i obecność różnych produktów hydratacji w zależności od zastosowanej strategii hydrofobizacji i pod wpływem działania mrozu. Natomiast profilogramy betonów hydrofobizowanych powierzchniowo sugerują, że aby zwiększyć skuteczność tego zabiegu, należy koniecznie opracować techniki zwiększające chropowatość nanoszonych powłok. Potwierdzono także, że zwiększenie przez niektóre środki hydrofobizujące zawartości powietrza w świeżej mieszance jest powiązane z obniżeniem wytrzymałości i trwałości betonu. W porównaniu, odpowiednie domieszkowanie NP nie zmieniło zawartości powietrza i przyczyniło się po stwardnieniu mieszanki do znacznego obniżenia jej porowatości otwartej i zmniejszenia objętości porów. Może to być zdaniem recenzenta jeden z podstawowych czynników, który prowadzi do zwiększenia trwałości betonów z NP, jak i uzupełnienie wniosków, które związane są ze stwierdzonymi zmianami w strukturze C-S-H betonów modyfikowanych.

W ostatnim rozdziale 8 (str. 200-203) dokonano podsumowania pracy, sformułowano wnioski końcowe i zasygnalizowano dalsze kierunki badań. W załącznikach rysunkowych i tabelarycznych (str. 247-282) podano wyniki badań eksperymentalnych, które uzupełniają dane z rozdziału 7.

W podsumowaniu niniejszego punktu stwierdzam, że układ rozprawy jest prawidłowy (kolejność rozdziałów i omawianych zagadnień, kompozycja, umiejscowienie rysunków i tablic). Jest to szczególnie warte podkreślenia, zważywszy na obszerność prezentowanego materiału. Zdaniem recenzenta wyjątek w tym zakresie stanowi umieszczenie w rozdziale 7 opisów badań wytrzymałości i mrozoodporności jako jednych z ostatnich. Spowodowało to, że przy omawianiu wcześniej zamieszczonych analiz mikrostruktury betonów Doktorantka zbyt często odwoływała się do wyników prezentowanych na stronach dalszych, co utrudnia czytanie rozprawy. Strona graficzna pracy została generalnie przygotowana bardzo starannie, a poruszana problematyka jest przedstawiona w sposób zrozumiały. Zakres cytowanej literatury jest bardzo szeroki. Zawartość dysertacji pozwala stwierdzić recenzentowi, że Kandydatka posiada ogólną wiedzę teoretyczną, która jest wymagana na poziomie pracy doktorskiej w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport. Ponadto sposób ustalenia programu badań świadczy o zdobyciu przez Doktorantkę umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Gdzieniegdzie można znaleźć drobne usterki redakcyjne (np. patrz punkt 4), lecz nie rzutują one na wartość merytoryczną pracy doktorskiej.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Ocena doboru tematyki

W dniu dzisiejszym główne wyzwania cywilizacyjne to m.in. zmniejszenie wytwarzania odpadów i zatrucia przyrody. W inżynierii budowlanej duże znaczenie ma w tym zakresie nie dająca się

zmniejszyć emisja procesowa CO_2 przy wypale klinkieru. Dlatego rozpoznawanie i opracowywanie racjonalnych technologicznie sposobów podnoszenia trwałości kompozytów cementowych przyczynia się w sposób oczywisty do obniżenia konsumpcji spoiw, a tym samym do ochrony środowiska naturalnego. W przemyśle materiałów budowlanych istnieje także bardzo duży potencjał do wtórnego wykorzystania odpowiednio przetworzonych odpadów przemysłowych i komunalnych. W tym względzie z gospodarczego punktu widzenia korzystne jest, jeśli dotyczy to lokalnie łatwo dostępnych surowców bez konieczności zwiększenia nakładów na transport czy kosztowne technologie utylizacji. Przedłożona do oceny rozprawa wpisuje się jak najbardziej w te zagadnienia, ponieważ:

- Doktorantka przedstawia kompleksowe wyniki badań eksperymentalnych, które dostarczają nowej wiedzy na temat możliwości zwiększenia trwałości betonów poprzez ich hydrofobizację związkami krzemoorganicznymi z udziałem celulozy krystalicznej, a co istotne, zabieg ten nie jest skomplikowany technologicznie;
- Doktorantka uzyskała z makulatury „prostokątną" celulozę krystaliczną, która cechowała się największą skutecznością w eliminacji niekorzystnych efektów domieszkowania związków krzemoorganicznych.

Na podstawie przytoczonej argumentacji pozytywnie oceniam dobór tematyki rozprawy doktorskiej jako aktualnej i potrzebnej.

3.2. Ocena tezy badawczej i planu badań

Wychodząc naprzeciw luce stwierdzonej w literaturze techniczno-naukowej nt. hydrofobizacji kompozytów cementowych, Autorka w rozdziale 3 postawiła tezę badawczą, że beton modyfikowany związkami krzemoorganicznymi i nanocelulozą będzie wykazywał większą trwałość w porównaniu do betonu bez takiej modyfikacji. Choć teza jest jedna (z reguły w rozprawach doktorskich formułuje się kilka tez lub celów naukowych), to biorąc pod uwagę dzisiejsze standardy w inżynierii materiałowej, pełna droga to jej potwierdzenia bądź odrzucenia nie mogła być łatwa i musiała wymagać opanowania wielu zagadnień teoretycznych, zaawansowanych technik laboratoryjnych, a także zaplanowania całej gamy żmudnych eksperymentów i analizy statystycznej. W tym miejscu należy podkreślić, że w rozdziale 4 Doktorantka sformułowała plan szeroko zakrojonych badań, a następnie konsekwentnie go realizowała, co opisała w rozdziałach 5-7. Każdą grupę wyników zróżnicowaną ze względu na rodzaj mierzonych charakterystyk poddała analizie. Konfrontowała je z badaniami literaturowymi i wyciągała na tej podstawie poprawne wnioski na temat przyczyn zaistniałych różnic pomiędzy seriami próbek betonu referencyjnego i betonów modyfikowanych. Jednocześnie potwierdzenie tezy badawczej wymagało znalezienia, wśród wielu możliwych kombinacji, takich związków krzemoorganicznych, rodzajów nanocelulozy i ich stężeń, które będą znosić niekorzystne cechy obu modyfikacji, a uwypuklą jedynie ich zalety. Efekt synergii w zakresie trwałości udało się osiągnąć dopiero po zastosowaniu celulozy NP i środka WS808. Z kolei dzięki badaniom mikrostrukturalnym i składu pierwiastkowego autorka pokusiła się o racjonalne wytłumaczenie uzyskanego efektu.

Wymienione powyżej argumenty świadczą o osiągnięciu przez Kandydatkę umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Zaplanowane prace należy określić jako logicznie ze sobą powiązane i dobrze ukierunkowane w kontekście postawionej tezy. Co ważne, mają one wymiar praktyczny (patrz punkt 3.1) i poznawczy (patrz punkt 3.3). Z wymienionych powodów oceniam bardzo pozytywnie zarówno tezę badawczą jak i powiązany z nią plan badań.

3.3. Ocena osiągnięć naukowych

Przedstawione w dysertacji badania eksperymentalne pozwoliły Autorce osiągnąć oryginalne rozwiązania problemów naukowych, które spełniają w zupełności wymogi ustawowe. Najważniejsze z nich w opinii recenzenta wymieniono poniżej.

1) Opracowanie technologii pozyskiwania z papieru gazetowego nanocelulozy o kryształach zbliżonych kształtem do prostokątów ze zminimalizowaniem niekorzystnego wpływ procesu

rogowacenia, które zachodzi podczas jej suszenia. Osiągnięcie to potwierdzone jest także uzyskaniem patentu w UPRP.

2) Podanie charakterystyki pozyskanej nanocelulozy „prostokątnej", która potwierdza jej przydatność techniczną jako domieszki do betonów (stopień krystaliczności, kształt i rozkłady wielkości kryształów, sorpcyjność i stabilność termiczna w zakresie do 600^{o}C).
3) Opracowanie sposobu preparacji środków domieszkujących do betonów z nanocelulozą i związkami krzemoorganicznymi i z samą nanocelulozą przy wykorzystaniu homogenizacji ultradźwiękowej (dobranie odpowiednich stężeń związków, czasu mieszania, stabilizacja temperatury).
4) Wykazanie w przypadku nowo uzyskanego środka na bazie NP i WS808 dużej skuteczności w podniesieniu trwałości mrozowej betonu zwykłego z kruszywem żwirowym, w/c=0,55 i CEM I.
5) Przedstawienie kompleksowych badań betonu zwykłego (o wybranej i uzasadnionej z naukowego punktu widzenia recepturze), które określają zmiany jego cech w efekcie hydrofobizacji strukturalnej i powierzchniowej za pomocą nowo uzyskanych środków (zdaniem recenzenta za szczególnie interesującą należy uznać tę część badań, którą omówiono szczegółowo w 11 akapicie punktu 2).

4. Uwagi

Uwagi merytoryczne:

1) Przy opisie badań zdolności odparowania wody w p. 4.2.4 brakuje informacji, czy próbki mogły odsychać na wszystkich bokach.
2) Pozyskiwanie celulozy krystalicznej wiąże się niestety użyciem nieobojętnych substancji chemicznych i wytwarzaniem odpadów. Czy Doktorantka szacowała, ile takich odpadów będzie powstawać, np. na 1 t produktu, w kontekście komercjalizacji pozyskiwania nanocelulozy „prostokątnej" z makulatury?
3) Na rysunkach 5.10-5.13 i 5.15-5.18 rozkłady wielkości cząstek czterech partii NP różnią się. Brak jest objaśnienia, czy jest to związane z dokładnością użytych technik pomiarowych, czy wynika to z innych przyczyn – np. braku powtarzalności parametrów technicznych makulatury bądź niejednorodności surowca.
4) W tabeli 5.8 wykazano najniższą lepkość w przypadku zawiesiny wodnej NP, która jako jedyna jest niższa od samej wody (w temp. 23,9^{o}C). W kontekście uzyskanych wyników (zawartości powietrza w świeżej mieszance oraz porowatości otwartej i trwałości betonu stwardniałego) należy rozważyć tę cechę jako wstępnie weryfikującą przydatność danej nanocelulozy. Niższa lepkość może być związana np. z mniejszym stopniem rogowacenia nanocelulozy lub mniejszym udziałem fibryli w stosunku do cząstek „prostokątnych". W konsekwencji może to przyczyniać się do jej bardziej homogenicznego rozprowadzenia w mieszance i zwiększenia wpływu na modyfikację C-S-H.
5) W pierwszym wierszu tabeli 6.1 nie jest jasne, czy chodzi o poziom dozowania samego związku czy raczej środka ze związkiem krzemoorganicznym?
6) W związku ze stwierdzonym obniżeniem czasu rozpływu w teście Ve-Be, czy nie obserwowano także ewentualnej segregacji składników w modyfikowanych mieszankach?
7) W tabeli 7.1 podano, że odchylenie standardowe i współczynnik zmienności czasu rozpływu w teście Ve-Be, gęstości i zawartości powietrza są zerowe. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii.
8) W tabeli 7.3 suma porowatości całkowitej i szczelności nie zawsze równa się jeden. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii.
9) Czy wartość 0 przy NP-1.0 w tabeli 7.23 nie jest wpisana omyłkowo?
10) W porównaniu do betonu W na rys. 7.22 pokazano szybszy spadek wilgotności betonów modyfikowanych, natomiast na rys. 7.25 pokazano wzrost oporu dyfuzyjnego pary wodnej. Może to świadczyć, że zastosowane modyfikacje przyczyniają się do tworzenia tzw. „korków wodnych" w porach betonu, które spowalniają transport pary wodnej, ale modyfikacje te jednocześnie ułatwiają transport kapilarny i dyfuzję powierzchniową wody.
11) Omawiając przyszłe kierunki działalności, warto również uwzględnić badania z użyciem nowo wytworzonych środków, które będą dotyczyć:

- ewentualnego rozwoju mikroorganizmów zdolnych do rozkładu celulozy na powierzchniach betonów modyfikowanych – szczególnie powierzchniowo;
- trwałości betonów i zapraw o niższym w/c przy zastosowaniu superplastyfikatorów;
- betonów z cementem hutniczym;
- współczynników dyfuzji wilgoci powierzchniowej w betonach;
- zachowania się betonów modyfikowanych w warunkach pożarowych – np. z uwagi na stwierdzone zachowanie się termiczne NP w temperaturze ok. 360^{o}C;
- zwiększenia chropowatości powłok hydrofobizujących.

Uwagi edycyjne:

1) Użyte na str. 28 stwierdzenie „biofilm betonowy" jest niefortunne.
2) Powinno się unikać użycia słowa „lepsza" w stosunku do cechy fizycznej w kontekście „korzystniejsza", „większa" lub „mniejsza" – np. „lepsza hydrofobowość" w punkcie 2.2.1.1.
3) Wymagana jest edycja niektórych zdań w rozprawie. Przykładowo zdanie na str. 40 – „Gdy powierzchnia zewnętrzna jest mokra, …", jest niejasne, a w pierwszym zdaniu na str. 43 i w ostatnim zdaniu czwartego akapitu na str. 49 brakuje części słów.
4) W pierwszym wierszu tabel 5.8 i 6.1 w stosunku do nanocelulozy powinno się użyć raczej słowa zawiesina niż roztwór.
5) Na rysunkach 7.13 i 7.20 trudno jest przypisać część wykresów do konkretnych rodzajów betonów.
6) Wykresy na rys. 7.20 warto jest przedstawić jako znormalizowane względem wartości początkowej.

5. Wnioski końcowe

W swojej rozprawie doktorskiej mgr inż. Małgorzata Szafraniec z dużym zaangażowaniem przedstawiła porównawcze badania nad hydrofobizacją strukturalną i powierzchniową betonu zwykłego za pomocą związków krzemoorganicznych i nanocelulozy. Pozwoliły one Doktorantce na eksperymentalne potwierdzenie postawionej tezy, że zastosowanie celulozy o kryształach prostokątnych umożliwia istotne podniesienie trwałości betonu zwykłego. Nanoceluloza tego typu została przygotowana przez Kandydatkę samodzielnie na podstawie opatentowanej procedury, której jest głównym autorem. Nie bez znaczenia w tym zakresie jest także aspekt wykorzystania surowca wtórnego (makulatury). Należy podkreślić, że wyniki mają charakter kompleksowy, nie ograniczają się do analizy małej liczby czynników i obejmują zagadnienia związane z urabialnością świeżej mieszanki, a w przypadku betonu stwardniałego z parametrami wilgotnościowymi, porowatością, składem chemicznym, badaniami mikrostruktury, wytrzymałością i trwałością. Wymagało to zdobycia umiejętności prowadzenia wielu żmudnych eksperymentów, często z wykorzystaniem zaawansowanych technik pomiarowych.

Przedstawione badania wymagają dalszego rozwoju, np. w celu doprowadzenia do ich komercjalizacji, co otwiera przed Doktorantką kolejne perspektywy.

Na podstawie analizy przedłożonej do opinii dysertacji mogę stwierdzić, że spełnia ona w zupełności wymagania ustawowe. W toku dociekań Autorka osiągnęła oryginalne rozwiązania problemów naukowych, wykazała się ogólną wiedzą w ramach dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport oraz umiejętnością samodzielnego planowania i prowadzenia badań.

Uwagi wymienione w punkcie 2 i 4 mają charakter porządkowy lub służą wywołaniu dyskusji naukowej.

W podsumowaniu stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa Pani mgr inż. Małgorzaty Szafraniec spełnia wymagania, o których mowa w Ustawie z dnia 20.07.2018 r. – *„Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce"* i stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Signature Not Verified
Dokument podpisany przez ZBIGNIEW PERKOWSKI
Data: 2025.03.15 00:10:23 CET