

Recenzje spełnide wymagania formalne

dr hab. inż. Paweł Pichniarczyk, prof. AGH

Kraków, 19.09.2025r.

Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie

Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

MGR INŻ. ERYKA GOLDMANNA

pt.: „ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA FUNKCJONALNYCH NANOKOMPOZYTÓW
JAKO MATERIAŁU NAPRAWCZEGO I SAMOMONITORUJĄCEGO W KONSTRUKCJACH
BUDOWLANYCH”

1. PODSTAWA FORMALNA OPRACOWANIA RECENZJI

- Pismo Pana prof. dr hab. inż. Piotra Folegi, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 18.07.2025 (data wpływu do sekretariatu 4.08.2025) o podjęciu Uchwały z dnia 17.07.2025 w sprawie powołania mnie na Recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora mgr inż. Erykowi Goldmannowi.
- Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Eryka Goldmanna pt.: „Analiza możliwości zastosowania funkcjonalnych nanokompozytów jako materiału naprawczego i samomonitorującego w konstrukcjach budowlanych”, której promotorem jest prof. dr hab. inż. Barbara Klemczak, natomiast promotorem pomocniczym dr inż. Marcin Górski, prof. PŚ.

2. OCENA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska Pana mgr inż. Eryka Goldmanna liczy 181 stron, w tym 119 rysunków i 40 tabel. Do pracy załączona jest bibliografia, która stanowi 243 pozycje literaturowe oraz 7 norm, z czego większość, bo aż 238, opublikowana została w czasopismach zagranicznych, np.: Construction and Building Materials, Cement and Concrete Research, Applied Energy, Journal of Building Engineering, Cement and Concrete Composites, Materials,

Buildings. Występują cytowania z lat 80. i 90. (głównie początkowe, podstawy teoretyczne), ale przede wszystkim cytowana literatura jest z młodszych roczników, od 2017 roku.

Ponadto, z przeglądu stron www, wynika, że Autor, jest współautorem 6 publikacji w czasopiśmie, 1 rozdziału książki oraz 6 materiałach konferencyjnych, częściowo związanych z tematyką rozprawy doktorskiej. Wszystkie znajdują się na liście czasopism umieszczonych w „Komunikacie Ministra Edukacji i Nauki z dnia 5.01.2024r. w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych”. Publikacje te są punktowane od 5 do 140. Doktorant brał również udział w min 6 międzynarodowych konferencjach, gdzie wygłaszał referaty. Na dzień pisania opinii, wskaźniki bibliograficzne są następujące: wg Scopus: h-index = 1, liczba cytowań łącznie = 18, natomiast wg WoS: h-index = 2, liczba cytowań łącznie = 14. Z tego widać, że Autor już od początku swojego rozwoju naukowego stara się prezentować wyniki własnych prac w zagranicznych czasopiśmie naukowych o uznanej renomie i konferencjach. Biorąc pod uwagę fakt, że zwyczajowo dopuszczenie do obrony pracy doktorskiej wymaga co najmniej jednej publikacji w czasopiśmie z listy czasopism MNISW, przedstawiony dorobek jest wyróżniający się.

Pan mgr inż. Eryk Goldmann brał również udział w miesięcznym stażu w Brunel University of London w ramach projektu CSTO2NE. Posiada również doświadczenie dydaktyczne. Tego typu aktywności są w ocenie Recenzenta również dodatkowym atutem w pracy naukowej, tzn. bezpośredni kontakt ze środowiskiem uczelnianym i naukowym, który sprzyja rozwojowi i umiejętności swobodnych kontaktów międzyludzkich.

W opinii recenzenta przedłożona rozprawa ma charakter pracy doświadczalnej, której efektem są udokumentowane wyniki szeregu badań.

Praca składa się z 6 rozdziałów, poświęconych obszernemu studium literaturowemu, celowi i tezie pracy, oraz zastosowanych materiałów, wykorzystywanych metod badawczych, przedstawionych wyników badań przygotowanych próbek oraz rozdział dotyczący omówienia wyników. Pracę kończy podsumowanie i wnioski końcowe oraz propozycje kontynuacji badań. Układ pracy jest w pewnym sensie typowy, ale zdaniem Recenzenta brakuje osobnego rozdziału dotyczącego zastosowanych metod badawczych. Natomiast Autor zdecydował się na charakterystykę metod badawczych zastosowanych w pracy przy każdym oznaczeniu. Nie jest to błąd, ale dość nietypowe podejście w tego rodzaju pracach doświadczalnych.

Niniejsza rozprawa doktorska Pana mgr inż. Eryka Goldmanna stanowi bardzo obszerne i ciekawe studium poświęcone otrzymywaniu zapraw cementowych z dodatkiem nanorurek węglowych o unikalnych właściwościach, które mogą mieć zastosowanie w materiałach naprawczych, jednocześnie monitorujących zachowanie konstrukcji budowlanych.

W obszernej części literaturowej Autor przedstawia przegląd badań w zakresie zastosowania wybranych nanomateriałów węglowych w cementowych materiałach funkcjonalnych. Autor pracy stwierdza, że badania nowoczesnych materiałów budowlanych są zgodne z ideą Zrównoważonego Rozwoju oraz Europejskiego Zielonego Ładu, ponieważ pozwalają zmniejszyć zużycie surowców naturalnych oraz wydłużyć cykl życia tych materiałów bez negatywnego wpływu na środowisko naturalne, co Recenzent uważa, za prawidłowe podejście do projektowania współczesnych materiałów budowlanych.

Następnym elementem tej części pracy jest ogólna charakterystyka nanomateriałów, szczególnie węglowych, ponieważ właśnie te mają szersze zastosowanie w materiałach cementowych. Autor charakteryzuje znane i dostępne nanomateriały takie jak, fulereny, nanorurki węglowe, grafen i nanowłókna węglowe. Kolejno Autor opisuje przedstawiony w literaturze sposób uzyskiwania dyspersji nanomateriałów węglanowych w wodzie, który determinuje następnie jednorodne rozprowadzenie tych materiałów w matrycy cementowej, co ma wpływ na późniejsze właściwości zaczynów, zapraw cementowych i betonów. Autor, na podstawie danych literaturowych wyciąga wnioski, że zastosowanie takich materiałów pogarsza właściwości reologiczne, pozytywnie wpływa na skurcz, niejednoznaczny wpływ na ciepło hydratacji, pozytywny wpływ na mikrostrukturę przy zachowaniu odpowiedniej ilości i dyspersji materiałów w matrycy cementowej oraz właściwości mechanicznych, co związane jest z zagęszczeniem mikrostruktury, tym samym zmniejszeniem porowatości i oraz uzyskanie efektu zbrojenia. Dużą uwagę Autor przywiązuje do przewodności elektrycznej, która charakteryzuje nanomateriały węglowe, co w przypadku opracowania materiałów funkcjonalnych może mieć kluczowe znaczenie do oceny ich trwałości w czasie i większego uniezależnienia od wilgotności i czynników korozyjnych tych materiałów, co Recenzent uważa za słuszny kierunek, aczkolwiek ze względu na problemy aplikacyjne nanomateriałów węglowych związane z przygotowaniem dyspersji lub bezpośrednim dodatkiem w postaci sypkiej oraz brakiem możliwości przygotowania prostych i jednolitych procedur, przeskalowanie do produkcji przemysłowej jest bardzo trudne. Dlatego też, jak sam Autor

stwierdza występuje wiele pytań co do zasadności projektowania tego typu materiałów, w kontekście kosztów i ewentualnych zysków płynących z wykorzystania nanomateriałów węglanowych w produkcji przemysłowej nanokompozytów cementowych. Recenzent potwierdza ten wniosek, ponieważ sam nie spotkał się z masowym zastosowaniem, a jedynie istnieje szereg badań naukowych, co Doktorant poniekąd potwierdza w dużej liczbie cytowań literatury.

Zaprezentowany szeroki przegląd literatury przedstawia potencjalny zakres stosowania nanomateriałów węglowych, zwłaszcza w kompozytach typu smart, jednakże nie pozbawiony wyżej wspomnianych trudności technologicznych. Tym bardziej, że w odniesieniu do faktu, że wyroby cementowe są materiałami wielofazowymi oraz coraz częściej stosowanych cementów wieloskładnikowych z różnymi dodatkami mineralnymi, powoduje, że ilość zmiennych może być jeszcze większa niż Autor wstępnie zakłada.

Część literaturowa wg opinii Recenzenta jest w dużej mierze rzetelną dyskusją i ścieraniem się poglądów różnych badaczy w zakresie zastosowania nanomateriałów węglanowych i ich wpływu, związanych z właściwościami końcowymi tak uzyskanych tworzyw. Doktorant, moim zdaniem, słabo akcentuje aspekt analizy dostępności i konkurencyjności nanomateriałów węglanowych, co byłoby zdecydowanym wzmocnieniem ewentualnie celowości podjęcia takiego tematu badawczego.

Autor w końcowej części tego rozdziału sam podnosi problem mnogości problemów i wątpliwości dotyczących materiałów typu smart z zastosowaniem nanomateriałów węglanowych. Może to wskazywać, że Kandydat nie widzi większego potencjału, a praca jedynie ma charakter naukowy, tak można to odebrać po przeczytaniu tej części pracy.

Jednak wg opinii Recenzenta, Autor niniejszej rozprawy doktorskiej podjął ciekawy i ambitny temat dotyczący zastosowania nanomateriałów w kompozytach cementowych w celu uzyskania materiałów o charakterze funkcjonalnym, ale pytanie, czy opłacalny. Biorąc pod uwagę współczesne trendy w realizacji prac badawczych, które powinny mieć zdecydowany potencjał komercyjacyjny, jest wątpliwość czy temat w przyszłości będzie miał charakter strategiczny.

Pan mgr inż. Eryk Goldmann w rozdziale 3, w sposób jasny określił cel i zakres pracy. Podjęto temat wpływu nanorurek węglowych na właściwości kompozytów cementowych, jako

materiału do zastosowań naprawczych i jednocześnie o zdolności do monitorowania odkształceń. Autor w tym celu sformułował tezę, że „zaprawy cementowe z dodatkiem komercyjnie dostępnych nanorurek węglowych mają potencjał do zastosowania jako materiały naprawcze lub monitoringu konstrukcji budowlanych”. W tym miejscu Recenzent wskazuje na pewien bark konsekwencji, ponieważ Autorowi zależy na opracowaniu jednego materiału, który będzie miał cechy „naprawcze i monitorujące”, natomiast użycie przedrostka „lub” wskazuje na pewną alternatywę. Żeby udowodnić tak przyjętą tezę, Autor, przedstawił główne cele:

- określenie wpływu dodatku nanorurek węglowych w różnych stężeniach na właściwości fizyczne i mechaniczne zapraw cementowych,
- określenie wpływu na nanorurek węglowych na wybrane właściwości dotyczące trwałości takich materiałów, zwłaszcza w kontekście zastosowań naprawczych,
- ustalenie możliwości pomiaru przewodności elektrycznej w zastosowaniach do monitoringu konstrukcji,
- wybór optymalnego rozwiązania w celu otrzymania optymalnych właściwości ochronnych i przewodności elektrycznej.

Tak określony tok postępowania w dążeniu do osiągnięcia założonego ambitnego celu Recenzent uważa za zupełnie prawidłowy, a niespójności dotyczące tezy pracy są wynikiem, zdaniem Recenzenta, opracowanego przeglądu literaturowego i wątpliwości, które sam Doktorant podaje, o czym wspomniano we wcześniejszej części recenzji.

W tej części Doktorant również podaje zasadność wyboru nanomateriałów zastosowanych do badań, „...nanorurek węglowych, jako dostępnych na rynku z uwzględnieniem analizy kosztowej...” oraz wysokiej przewodności elektrycznej i potencjale zagęszczania struktury materiałów cementowych, co predestynuje do otrzymywania zaawansowanych i funkcjonalnych materiałów budowlanych o potencjale aplikacyjnym. Zdaniem Recenzenta bark w opracowaniu jest choćby wzmianki na temat kosztów i dostępności, o czym było już wspomniane.

Część badawczą Autor rozprawy zaczyna od charakterystyki surowców dostępnych na rynku krajowym. W pracy wykorzystano cement portlandzki CEM I 42,5R, piasek normowy oraz nanorurki węglowe. Ciekawym byłoby, o czym Recenzent wspominał, zastosowanie dla porównania, przynajmniej jednego rodzaju cementu wieloskładnikowego, tym bardziej, że założenia Europejskiego Zielonego Ładu zakładają zmniejszenie śladu węglowego i emisji CO₂

do atmosfery, a to stanie się w przemyśle cementowym, przy ograniczeniu produkcji cementu portlandzkiego. Zgodnie z danymi SPC, produkcja cementu CEM I zmniejsza się z roku na rok, na korzyść pozostałych rodzajów cementów CEM II – CEM V. W 2023 roku produkcja w Polsce CEM I to jedynie ok. 26%. Aczkolwiek, w przypadku pozytywnych wyników również uzyskano by efekt zmniejszenia ilości cementu w omawianych materiałach. Opis tabeli 4.2 bardziej precyzyjny, powinno być „Skład fazowy...”. Autor nie podaje jakie metody zastosował do badań składu chemicznego i fazowego cementu, podobnie nie podaje charakterystyki piasku normowego. Prawdopodobnie są zgodne z deklaracjami producenta.

W kolejnych oznaczeniach Doktorant, na podstawie doniesień literaturowych, dobrał doświadczalnie metodę oraz skład zawiesiny nanorurek węglowych, do dalszych badań z ich 0,05wt.%, 0,1wt.%, 0,2wt.%, 0,5wt.% oraz 1wt.% dodatkiem. Jednak nie podaje na jakiej podstawie ustalił akurat takie wartości procentowe nanomateriału.

Autor przeprowadził badania reologiczne zapraw z dodatkiem nanorurek węglowych: konsystencje i urabialność świeżej mieszanki oraz granicy płynięcia i lepkości plastycznej zaprawy. Stwierdzenie przez Autora, że nanomateriał spowodował pogorszenie cech reologicznych zapraw cementowych, jest oczywiste, na co wskazywali już inni badacze, co spowodowane jest rozwiniętą powierzchnią nanorurek węglowych i adsorpcją wody i innych dodatków. Modyfikacje standardowymi metodami zwiększenia płynności materiałów cementowych przyniosły oczekiwany efekt, czego można było się spodziewać. Nanorurki węglowe spowodowały również w większości przypadków większy skurcz w porównaniu do próbki referencyjnej. Następnie badania zawartości powietrza w świeżej zaprawie jak i gęstości objętościowej obrazują fakt, że dozowanie nanomateriału i jego wpływ na kompozyty cementowe w ewentualnej produkcji przemysłowej rodzi duże problemy technologiczne. Autor poprawnie interpretuje wyniki badań i formułuje wnioski, mimo, że ich korelacja nie napawa optymizmem. Ilość wersji próbek badawczych nastęrcza problemy interpretacyjne dla czytelnika niezwiązanego z tematem oraz nasuwa pytanie o analizę statystyczną tych oznaczeń, ponieważ Autor nie podaje odchylenia standardowego, co w przypadku różnicy o 0,01 danej wartości może nie mieć żadnego znaczenia. Zdaniem Recenzenta, Autor powinien prezentować tylko wybrane wyniki, w celu pokazania trendu. Jednocześnie przy tak skomplikowanej procedurze dozowania wody zarobowej, mieszania, uruchomienie produkcji na skalę przemysłowa wydaje się być wręcz niemożliwe, stąd jeden z wniosków Autora na

wstępie, że tego typu materiały, mimo licznych opracowań naukowych, póki co, nie mają większego zastosowania.

Doktorant w kolejnym etapie pracy do oznaczenia składu fazowego próbek zaproponował metodę dyfrakcji rentgenowskiej XRD i analizę termogawimetryczną DTA i TG. Obie metody pozwalają określić przebieg procesu hydratacji zaproponowanych spoiw z różnym dodatkiem nanorurek węglowych. Autor nadmiernie szczegółowo opisuje każdą z prób, wynika to z faktu, że nie zostały wyselekcjonowane próbki o najlepszych właściwościach reologicznych, ale dalej są analizowane wszystkie. Zdaniem Recenzenta oznaczenia DTA nie wniosły nowych informacji, a jedynie tyle, że nastąpił ubytek masy związany z dehydroksylacją wodorotlenku wapnia, co potwierdzają również wyniki XRD. Na podstawie dyfrakcji rentgenowskiej (Tabela 4.12), w próbce CNT 0,2 przebieg hydratacji spoiwa cementowego był najbardziej zaawansowany, o czym świadczy największa ilość portlandytu i najmniejsze pozostałości faz cementowych: alitu i belitu. Zdaniem Recenzenta zawartość, jak pisze Doktorant, pozostałych faz w próbce CNT 0,05 w ilości ponad 19%, nie powinna zostać pominięta. Doktorant, mimo wszystko, powinien pokusić się o interpretację. W Tabeli 4.13 Autor pisze „zawartość wolnego $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ”, mając na myśli Portlandyt, a taki zapis w chemii cementu może sugerować wolne wapno CaO , które oznacza się inną metodą tzw. glikolową. W obserwacjach w mikroskopie skaningowym Autor błędnie interpretuje w jednej z próbek CNT 0,05 fazę Tobermorytu, hydrokrzemianu powstającego w podwyższonej temperaturze w procesie autoklawizacji, a więc w zupełnie innych warunkach hydrotermalnych i jest charakterystyczny dla autoklawizowanych materiałów budowlanych (poz. lit. 130, rozdz. 2.5). Podobnie zresztą w innych próbkach 2C CNT, zdaniem Autora, pojawia się Xonotlit. Prawdopodobnie jest to typowa faza C-S-H, która stanowi główny składnik stwardniałych zaczynów cementowych. Pewne błędy interpretacyjne wynikają zapewne też z braku zastosowania punktowej analizy chemicznej EDS, która potwierdzałaby skład chemiczny zaobserwowanych faz mineralnych. Brak w większości przypadków w obserwowanych mikrostrukturach zawartości nanorurek węglowych, potwierdza jedynie fakt, o braku jednorodności próbek, o czym Autor wspomina. Badania porowatości potwierdziły w niektórych przypadkach efekt zagęszczenia mikrostruktury, oczywiście w badanych fragmentach próbek. Brak jest jednoznaczności uzyskanych wyników i pewnego trendu.

W kolejnym punkcie Pan mgr inż. Eryk Goldmann wykonał oznaczenia nasiąkliwości i podciągania kapilarnego, które zdaniem Recenzenta niekoniecznie korelują z porowatością. Wzrost zawartości nanomateriału wbrew pozorom wpływa na zwiększenie nasiąkliwości (Tabela 4.15) i jednocześnie zmniejszenie podciągania kapilarnego zwłaszcza dla próbek 2C CNT. Badania wytrzymałościowe, również metoda cyfrową, nie potwierdziły wzmocnienia struktury tych materiałów, czy w pewnym sensie zgęszczenie, które można zaobserwować w pewnych fragmentach próbek w przypadku niektórych kompozycji materiałowych. Być może wynika to również z faktu dotyczącego niejednorodnego rozprowadzaniu nanomateriału w próbkach normowych. W tym miejscu, należy zaznaczyć, że Doktorant poszukiwał również innowacyjnych metod badawczych.

W pracy Doktorant wykorzystuje również badania starzeniowe w komorze chłodząco-grzewczej z elementem wiatru. Ciekawym z punktu widzenia przyszłego zastawiania tych materiałów uwzględnienie deszczowania. W większości próbki miały wyższą wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu i niższą na ściskanie. Autor tłumaczy to zmianą mikrostruktury przy bardziej eksponowanej powierzchni na działanie warunków w komorze, co wydaje się słusznym. Jednak zdaniem Recenzenta, ciekawym byłoby uwzględnienie zmian w składzie fazowym przy powierzchni i rdzeniu próbek na podstawie oznaczeń XRD. Autor sam stwierdza, że wyniki nie są jednoznaczne.

Autor wykonał szereg badań przewodności elektrycznej, która jest kluczowa, jeśli chodzi o przydatność tych materiałów w ocenie trwałości konstrukcji, nie dały potwierdzenia tego faktu, ponieważ efekt jest silnie uzależniony od wilgotności próbek i jednorodności materiału. Oznaczenia własności termicznych dla tego rodzaju zapraw naprawczych ma mniejsze znaczenie, ponieważ mówimy zasadniczo o naprawie betonu, więc nie będą to cechy materiału izolacyjnego.

Pan mgr inż. Eryk Goldmann przeprowadził również szereg badań korozyjnych. Zdaniem Recenzenta oznaczenia podatności tych materiałów na karbonatyzację winno być przeprowadzone w specjalistycznej komorze, która pozwala utrzymać proces w ustabilizowanych warunkach przez określony czas, w temp. $-40 \div 100\text{st.C}$ ($\pm 2\text{st}^\circ\text{C}$), wilgotności 10-95%, powyżej 15°C ($\pm 5\%$) i stężeniu CO_2 0-10% ($\pm 5\%$) od wartości mierzonej, co skróciłoby przede wszystkim czas badania i wpłynęłoby na precyzję uzyskanych wyników. Recenzent na przyszłość sugeruje wykorzystanie właśnie takiej aparatury. Co

prawda, widać trend wpływu, ale sam Autor stwierdza, żeby uzyskać bardziej wyraźne wyniki należy użyć innej procedury, tym bardziej, że w laboratorium stężenie CO₂ (ok. 0,04%) jest min. 2 rzędy wielkości mniejsze. Doktorant dużo miejsca poświęca również korozji chlorkowej, która dotyczy wody morskiej i środków odladzających, co w przypadku zapraw naprawczych ma kolosalne znaczenie. Stwierdzono, że wartość współczynnika migracji chlorków rośnie wraz dodatkiem nanorurek węglowych. Jednak i tu Autor nie znajduje jednoznacznego uzasadnienia i potwierdzenia w poprzednich badaniach oraz korelacji wyników. Formułuje ogólny wniosek, że obecność nanomateriału nie poprawia odporności zapraw na wnikanie chlorków, wartość współczynnika migracji chlorków jest w większości przypadków wyższa od próbki referencyjnej, za wyjątkiem CNT 0,5 i 2C CNT 0,5 (Rysunek 4.94). I w tym przypadku trudno jest te wyniki skorelować z rozkładem wielkości porów czy podciąganiem kapilarnym, co Autor precyzyjnie opisuje w punkcie 4.18.3. Szkoda również, że Autor nie oceniał ewentualnych różnic w składzie fazowym próbek po badaniu lub roztworu, być może uzyskałby więcej informacji dotyczących wpływu jonów chlorkowych. Jednakże, doceniam trud Doktoranta w poszukiwaniu pewnych zależności.

Bardzo ciekawe jest podejście Doktoranta dotyczące korozji biologicznej omawianych materiałów w środowisku ściekowym mając na uwadze przyszłe zastosowanie, jako zaprawa naprawcza elementów betonowych. Niektóre procesy obejmują utlenianie siarczków (przez bakterie tlenowe) lub siarczanów (przez bakterie beztlenowe) do kwasu siarkowego, który następnie reaguje z węglanem wapnia, tworząc rozpuszczalne związki i prowadząc do jego rozpadu. Autor wykorzystał osady ściekowe z jednej z oczyszczalni, ale szkoda, że nie podał składu chemicznego, chociażby pod kątem zawartości siarczanów, fosforanów, azotanów i związków wapnia, które w sprzyjających warunkach mogą reagować ze składnikami zapraw cementowych. Ogólnie można stwierdzić, że w większości receptur i ekspozycji jest brak negatywnego wpływu agresywnego środowiska. Przeprowadzone badania wytrzymałościowe potwierdzają ten fakt. Zarówno badania wytrzymałości przy zginaniu jak i przy ścisaniu wykazują wyższe wartości dla próbek z nanorurkami po ekspozycji w środowisku agresywnym w porównaniu do próbek kontrolnych. Autor próbuje wyjaśnić mechanizm takiego działania na podstawie dywagacji naukowych, ale nie potwierdza tego konkretnymi oznaczeniami. Chociaż założenia Autora o doszczelnieniu mikrostruktury wydają się być słuszne, to Recenzent

sugerowałby wykonanie przynajmniej porównawczych analiz fazowych XRD, podobnie jak powyżej.

Pracę Autor kończy podsumowaniem i wnioskami końcowymi, w których stwierdza, że cele pracy zostały osiągnięte, a postawiona teza udowodniona, z czym Recenzent nie do końca się zgadza. Pomimo, że w większości wnioski końcowe są prawidłowe to nie odzwierciedlają jednoznacznie odpowiedzi na postawioną tezę w rozdziale 3, ponieważ nie uzyskano materiału funkcjonalnego, który spełniałby założenia, zarówno materiału naprawczego i monitorującego konstrukcje budowlane, zwłaszcza betonowe. Nie oznacza to jednak, że Autor nie udowodnił postawionych sobie poszczególnych celów. Zdaniem Recenzenta odpowiedzi znalazły się we wcześniejszych częściach przedstawionej do oceny pracy, choć często nie są one jednoznaczne.

Należy zwrócić uwagę, mimo wszystko, na przemyślane postępowania Doktoranta, dążącego do wyjaśnienia wpływu nanorurek węglowych na modyfikację właściwości zapraw cementowych, jako materiałów do zastosowań naprawczych i jednocześnie monitorujących trwałość konstrukcji budowlanych. Na podkreślenie zasługuje wykorzystanie wielu zaawansowanych metod badawczych oraz umiejętność interpretacji otrzymanych wyników badań. Zdaniem Recenzenta, Pan mgr inż. Eryk Goldmann dobrze poradził sobie z merytorycznym rozwiązaniem problemów badawczych, pomimo dużej ilości zmiennych wynikającej z doboru różnych zawartości nanomateriałów i wielu metod badawczych. Doktorant, w większości, starał się zdefiniować mechanizmy wpływu poszczególnych zmiennych na właściwości zapraw cementowych, choć niekiedy ich nie udowodnił konkretnymi oznaczeniami. Pomimo tego, uważam, że świadczy to o dużej determinacji i podziwiam fascynację Doktoranta dążenia do celu i dobrym przygotowaniem naukowym w tym zakresie. Recenzent sugeruje jednak doskonalenie swojej wiedzy w obszarze chemii cementu i betonu. Polecam pozycje książkowe: W. Kurdowski „Chemia cementu i betonu”, 2010 czy J. Deja "Beton – technologie i metody badań", 2020.

Naturalnym i oczywistym jest krytyczne podejście Recenzenta do ocenianej pracy. Kilka uwag czy błędów recenzent zamieścił w treści niniejszej recenzji, które w opinii recenzenta warto wykorzystać w dalszych badaniach lub podczas publikowania wyników recenzowanej pracy. W opracowaniu występują również drobne błędy literowe oraz przejęzyczenia, których Recenzent nie przytacza, ponieważ uważa je za mało istotne.

Zasadnicze uwagi Recenzenta związane z realizacją pracy dotyczą następujących zagadnień, a mianowicie:

- zastosowanie tak dużej ilości zmiennych powoduje, że praca jest trudna do czytania, co nie ułatwia interpretacji tak dużej ilości wyników badań. Zdaniem Recenzenta należało ograniczyć ilość zmiennych, wtedy wnioski wynikające z badań byłyby bardziej czytelne i jednoznaczne. Doktorant niepotrzebnie skomplikował sobie dążenie do założonych celów,
- zastosowanie cementu portlandzkiego w dobie dążenia do jego ograniczenia, trzeba jedynie traktować jako pewien układ modelowy o charakterze naukowym,
- brak oceny statystycznej przy tak niewielkich różnicach w niektórych oznaczeniach rodzi wątpliwości dotyczące powtarzalności i jednorodności wyników,
- przeprowadzenie analizy opłacalności tego typu rozwiązań, żeby brać pod uwagę przemysłowe zastosowanie takich materiałów,
- praca ma charakter typowo teoretyczny i poznawczy (naukowy), zdaniem oceniającego walory aplikacyjne są na ten moment nieosiągalne, a element komercjalizacyjny niemożliwy,
- przeprowadzenie badań aplikacyjnych w większej skali być może rozwiązałyby wiele wątpliwości i ewentualnie nadałyby pracy walor wdrożeniowy. Ten element został uwzględniony dopiero w przyszłych kierunkach badań. Recenzent dostrzega potencjał zastosowania tego typu funkcjonalnych materiałów, np.: w obszarze dual-use dla celów obronności i bezpieczeństwa państwa.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Reasumując, uważam, że przedłożona do oceny rozprawa doktorska Pana mgr inż. Eryka Goldmanna dotyczy interesującego zagadnienia z poznawczego punktu widzenia. Przy dodatkowym nakładzie dalszych prac może uzyskać charakter wdrożeniowy, co w opinii Recenzenta, byłoby in plus dla recenzowanej pracy. Trudny i ambitny cel, jaki postawił sobie Doktorant został moim zdaniem częściowo osiągnięty. Wykorzystanie wielu zaawansowanych technik pomiarowych oraz prawidłowa interpretacja uzyskanych wyników oznaczeń, pozwoliło na ocenę wpływu nanorurek węglowych na szereg właściwości, a tym samym na określeniu mechanizmów reakcji w procesie hydratacji omawianych materiałów, odporności

na starzenie i środowiska agresywne. Za każdym razem Doktorant podejmował ambitne próby wyjaśnienia przyczyn zmian właściwości zapraw cementowych modyfikowanych nanorurkami węglowymi. Podziwiam Autora za determinację i tak szczegółową analizę.

Autor zaprezentował predyspozycje do samodzielnego planowania i prowadzenia badań oraz interpretowania ich wyników. Wykazał również umiejętność formułowania i prezentacji problemu naukowo-badawczego, co stwarza perspektywy do podejmowania nowych wyzwań naukowych.

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska ma, zdaniem Recenzenta, charakter interdyscyplinarny, z pogranicza inżynierii chemicznej, inżynierii materiałowej i inżynierii lądowej, co w ocenie Recenzenta jest niezwykle cenne.

Pewne wątpliwości, które Recenzent sformułował podczas oceny niniejszej pracy nie umniejszają jej wartości oraz pozytywnej oceny, jako pracy naukowej. Na uwagę, dodatkowo, zasługuje fakt, że Doktorant posiada, mimo młodego wieku, dorobek naukowy w postaci artykułów w czasopismach naukowych, udziału w konferencjach naukowych oraz doświadczenie dydaktyczne. Strona edytorska ocenianej pracy, w opinii Recenzenta, również nie budzi najmniejszych zastrzeżeń.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że przedłożona mi do oceny rozprawa doktorska Pana mgr inż. Eryka Goldmanna spełnia wymogi ustawy z dnia 20 lipca 2018 Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (z późniejszymi zmianami w związku z tym wnioskuje do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport o dopuszczenie Pana mgr inż. Eryka Goldmanna do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych.

Recenzję podpisał
Paweł Pichniarczyk