



WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej
dr hab. inż. Arkadiusz Kloziński
ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań, tel. +48 61 665 3784
e-mail: Arkadiusz.Klozinski@put.poznan.pl

Poznań, 15.01.2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Górnika

pod tytułem:

„Metoda wytwarzania oraz właściwości fizyczne i użytkowe lekkiego kruszywa kompozytowego”

przygotowanej na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej, wykonanej pod kierunkiem Promotora Pana dr hab. inż. Przemysława Postawy, prof. PCz. oraz Pana dr inż. Bogdana Langiera, jako promotora pomocniczego.

Recenzja opracowana została na zlecenie Pana Kierownika Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej, dr hab. inż. Janusza Szmidla, prof. PCz., z dnia 06.11.2023 r. (pismo R-WIMil-BOD.511.3.2023).

Arkadiusz Kloziński

Informacje dotyczące wykształcenia oraz przebiegu pracy naukowo-zawodowej mgr inż. Piotra Górkę

Doktorant stopień magistra inżyniera uzyskał w dniu 20. 11. 1998, w zakresie Technologii, organizacji i zarządzania w budownictwie, na Wydziale Budownictwa Politechniki Częstochowskiej. Od roku 2019 jest słuchaczem w Szkole Doktorskiej Politechniki Częstochowskiej.

Według mojej wiedzy, Pan mgr inż. Piotr Górkę nie ubiegał się wcześniej o nadanie stopnia doktora.

Przebieg pracy zawodowej:

2021 – do nadal – Menadżer Doradztwa Technicznego CEMEX Polska;
2009 – 2020 – Kierownik Grupy Jakości i Technologii Betonu;
2004 – 2009 – Technolog Betonu Cemex Polska;
2001 – 2004 – Laborant betonu Cemex Polska (dawniej RMC Polska).

Przebieg aktywności naukowo-badawczej:

2019 – Kierownik projektu Cemex Polska / AGH / Cemex Research Group - "Equivalent properties of concrete with fly ash";
2018 – Członek zespołu projektowego Cemex Polska / AGH / Cemex Research Group - "Concrete air entraining effectiveness in aspect of chemical and physical CX cement properties, which depend on production process fluctuations";
2016 – 2017 – Kierownik projektu Cemex Polska odpowiedzialny za dostarczenia rozwiązania materiałowego dla technologii betonu żaroodpornego (Nagroda SPBT za Innowacyjność 2017);
2010 – 2012 – Kierownik projektu Cemex Polska odpowiedzialny za rozwiązania technologiczne i materiałowe dostaw betonu kriogenicznego na potrzeby budowy zbiorników na LNG – Gazoport Świnoujście (Nagroda SPBT za Innowacyjność 2013);
2009-2010 – Kierownik Projektu - Cemex Polska i AGH - "Influence of the type of cement on properties of hardened concrete in terms of construction of tanks for condensed gas the for investment of the gas terminal in Świnoujście";

2009 – Kierownik projektu realizacji innowacyjnego opracowania rozwiązań materiałowych dla betonu samozagęszczalnego na masywne podpory obiektu WD 464 w ciągu autostrady A1 – współpraca naukowa z Politechniką Krakowską (Nagroda Stowarzyszenia Producentów Betonu SPBT za Innowacyjność 2010).

Tematyka rozprawy doktorskiej

Tematyka pracy doktorskiej mgr inż. Piotra Górnika dotyczy opracowania technologii wytwarzania lekkich kruszyw kompozytowych bazujących na komponentach odpadowych. Podejmowanie tego typu tematyki wpisuje się w popularne obecnie proekologiczne kierunki badawcze, w których przywiązuje się nadrzędne znaczenie dla ochrony środowiska oraz troskę o obecną i przyszłą jakość życia na Ziemi. Prowadzona w ostatnich dziesięcioleciach nadmierna eksploatacja zasobów naturalnych przyczyniła się do dewastacji środowiska i zaburzenia istniejących ekosystemów. Nadużywanie zasobów naturalnych prowadzi do ich wyczerpywania oraz pozbawia przyrodę możliwości ich regeneracji. Negatywne w skutkach nie jest tylko nadmierne wydobywanie surowców naturalnych ale również ich przetwarzanie w celach energetycznych oraz do wytwarzania wyrobów przemysłowych i konsumpcyjnych. Technologiczne procesy przetwórcze stanowią nie tylko źródło produktów użytkowych, ale bardzo często generują również olbrzymie ilości odpadów poprodukcyjnych. Jednym z największych wyzwań współczesnego człowieka jest zagospodarowanie nie tylko wspomnianych odpadów przemysłowych, ale przede wszystkim odpadów pokonsumenckich, w tym z tworzyw sztucznych, których ilość z roku na rok przybywa. Szacuje się, że tworzywa sztuczne stanowią aż pięćdziesiąt procent wszystkich generowanych śmieci. Zastosowania tworzyw sztucznych wciąż bardzo szybko rosną ze względu na niski koszt i łatwość ich wytwarzania oraz przetwórstwa. Aktualnie jednym z największych problemów przemysłu tworzyw sztucznych, jest unieszkodliwianie jego odpadów w środowisku. Materiały polimerowe w większości cechują się niską biodegradowalnością, a ich rozkład w przyrodzie może sięgać nawet tysiąca lat. Dlatego niepokojące jest to, że jak podają najnowsze statystyki jedna czwarta odpadów z tworzyw sztucznych jest nadal składowana. Problem ten został dostrzeżony i z optymizmem można zapatrywać się na strategię działań w obrębie europejskiej polityki na rzecz ochrony środowiska, która zakłada wzrost recyklingu odpadów opakowaniowych z tworzyw sztucznych do 55% ich produkcji, do początku trzeciej dekady tego tysiąclecia. Stawiane

wymagania w w/w zakresie stanowią motor napędowy działań badawczych, w których poszukuje się nowych metod utylizacji odpadów z tworzyw sztucznych, ale przede wszystkim nowatorskich form ich ponownego zagospodarowania. Dlatego na wstępie mojej recenzji chciałbym zaznaczyć, że wybór tematyki rozprawy wpisuje się w najnowsze trendy badawcze o charakterze proekologicznym, a także w wieloletnie doświadczenie i osiągnięcia Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej. Bardzo ciekawym wyzwaniem poznawczym, podjętym przez mgr inż. Piotra Górkę, jest próba połączenia w produkt końcowy (kruszywo kompozytowe), materiałów o diametralnie odmiennych właściwościach, pochodzących z różnych strumieni odpadowych. Opracowana technologia wpisuje się w strategię zrównoważonego rozwoju oraz gospodarki obiegu zamkniętego. Ponadto dotyczy jednego z najbardziej aktualnych obszarów badawczych, tzn. zagadnień z zakresu opracowywania nowych materiałów kompozytowych. W tym świetle praca mgr inż. Piotra Górkę nacechowana jest pierwiastkiem nowatorskim i posiada duży potencjał aplikacyjny.

Charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Górkę obejmuje 212 stron maszynopisu, zawiera w sobie 148 rysunków oraz 60 tabel i składa się ze spisu treści, streszczenia (w języku polskim oraz angielskim), wykazu skrótów i oznaczeń, wstępu, 4 rozdziałów części teoretycznej, celu i zakresu pracy, 6 rozdziałów części doświadczalnej, wniosków, spisu literatury oraz spisu tabel.

Część teoretyczna pracy

Część teoretyczna pracy została podzielona na 4 rozdziały. W rozdziale pierwszym Doktorant podejmuje się przybliżenia problematyki zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych. Podkreśla jak duże znaczenie odgrywają materiały polimerowe w życiu współczesnego człowieka, ale przede wszystkim zwraca uwagę jakie stanowią zagrożenie. Przytoczone statystyki pokazują jak rozkłada się produkcja tworzyw sztucznych i ich zużycie w poszczególnych dziedzinach gospodarki. Jednak głównym zamysłem pierwszego rozdziału pracy, było jak sądzę, uświadomienie czytelnika jak wiele wyzwań czeka nas jeszcze w zakresie recyklingu materiałów polimerowych. Ponieważ jego udział w zakresie przetwórstwa odpadów z tworzyw sztucznych, jest nadal na zbyt małym poziomie. W rozdziale tym bardzo krótko

opisany został również recykling mechaniczny tworzyw sztucznych. Doktorant w tym miejscu wprowadza po raz pierwszy informacje na temat poli(tereftalanu etylenu) (PET), będącego jednym z materiałów badawczych stanowiących istotę niniejszej pracy doktorskiej. Przytacza informacje na temat recyklingu PET oraz wynikających z niego ograniczeń, przede wszystkim pogorszenia właściwości wytrzymałościowych polimeru, w funkcji krotności jego recyrkulowania.

W drugim rozdziale pracy zawarte zostały informacje na temat ubocznych produktów spalania oraz kierunków ich zagospodarowania. Z analizy zawartych w pracy danych wynika, że odpadów jakimi są uboczne produkty spalania powstaje rocznie w Polsce około 10 razy więcej niż odpadów z tworzyw sztucznych i stanowią one również podobne wyzwanie, w obszarze ponownego ich zagospodarowania. Do tego dochodzą nowe źródła ubocznych produktów spalania, między innymi z zakładów termicznego przekształcania odpadów, czy spalarni osadów ściekowych. Doktorant wskazuje znaczenie przemysłu budowlanego w zagospodarowywaniu ubocznych produktów spalania. Wymienia typy materiałów budowlanych w produkcji których w/w odpady są stosowane, wskazuje także na potrzebę poszukiwania nowych kierunków użycia ubocznych produktów spalania w obszarze wyrobów budowlanych.

W trzecim rozdziale, stanowiącym najobszerniejsze opracowanie części teoretycznej dysertacji, opisane zostało zastosowanie poli(tereftalanu etylenu) jako składnika betonu oraz zapraw cementowych. Doktorant wymienia zalety stosowania odpadów z tworzyw sztucznych w produkcji materiałów budowlanych, ze szczególnym uwzględnieniem odpadów PET. Identyfikuje również ograniczenia, wynikające głównie z pokonsumenckiego charakteru odpadowego poli(tereftalanu etylenu). W oparciu o przegląd literatury Doktorant opisuje formy odpadowego PET stosowane jako element składowy kompozytów na bazie cementu oraz jego funkcje w tego typu kompozycjach. Akcentuje stosowanie odpadowego poli(tereftalanu etylenu) przede wszystkim jako surowca do produkcji żywic poliestrowych przeznaczonych na polimerobeton oraz jako włókna wzmacniającego osnowę cementową. Najwięcej uwagi poświęca zastosowaniu odpadowego PET jako kruszywa w kompozytach cementowych. W tym miejscu dysertacji zauważalne są dobrze przeprowadzone przez Doktoranta studia literaturowe. W odniesieniu do licznych prac naukowych przytacza kierunki badań prowadzonych nad zastosowaniem PET jako kruszywa. Doktorant opisuje jakie znaczenie w tym aspekcie ma forma odpadowego PET

(między innymi płatki, granulaty), stopień granulacji poszczególnych form, czy jego ilość w kompozycjach cementowych. W tym miejscu wprowadzone zostaje w tematykę dysertacji zagadnienie lekkiego kruszywa kompozytowego, łączącego tak bardzo odległe od siebie pod względem właściwości materiały, jak odpady pokonsumenckie PET z żużlem wielkopieczowym, czy piaskiem kwarcowym. W rozdziale tym Doktorant zauważył, że zagadnieniem stosunkowo mało poznanym w odniesieniu do betonu zawierającego PET jest jego trwałość, a szczególnie możliwość występowania niekorzystnego zjawiska hydrolizy poli(tereftalanu etylenu) w środowisku zasadowym.

Czwarty rozdział, tej części rozprawy, stanowi podsumowanie przeglądu literaturowego. Doktorant formułuje konstruktywne spostrzeżenia, między innymi o licznych wadach i niedoskonałościach kompozytów cementowych bazujących na recyklatkach PET, w formie włókien oraz płatków. Dostrzega również duży potencjał lekkich kruszyw kompozytowych powstałych z połączenia poli(tereftalanu etylenu) z ubocznymi produktami spalania. Zauważa również brak informacji na temat komplementarnych badań długoterminowych i starzeniowych betonów stosujących w swoim składzie w/w kruszywa. Kruszywa tego typu, zdaniem Doktoranta, mogą zastąpić w betonie kruszywa naturalne pochodzące z zasobów nieodnawialnych, tym samym stanowiąc proekologiczną alternatywę wpisującą się w politykę zrównoważonego rozwoju.

Podsumowując, chciałbym powiedzieć, że moim zdaniem część literaturowa rozprawy doktorskiej stanowi bardzo zwarte, ale zarazem treściwe opracowanie zagadnień precyzyjnie związanych z celem pracy oraz stanowiących istotną podstawę do części badawczej dysertacji. Poparta jest ona licznymi pozycjami literaturowymi, co może potwierdzać duże rozeznanie Doktoranta w omawianej tematyce, tym samym Jego dobre przygotowanie do realizacji części doświadczalnej pracy. W części teoretycznej pracy nie dopatrzyłem się błędów merytorycznych. Do uchybień edytorskich ustosunkuję się w dalszej części recenzji. Cel pracy oraz jej tezy stanowią kolejny rozdział dysertacji, poprzedzają jej część doświadczalną.

Część doświadczalna pracy

Część doświadczalna pracy zawiera 6 rozdziałów. W tym miejscu chciałbym zaznaczyć, że dysertacja nie posiada wyodrębnionych rozdziałów

charakteryzujących zastosowane w badaniach materiały, użytą aparaturę, czy opisujących metodykę przeprowadzonych badań. W pracy przyjęto koncepcję umieszczania w/w informacji jako wstęp do opisu wyników badań, dla poszczególnych chronologicznie po sobie następujących obszarów badawczych. Do przyjęcia powyższej koncepcji odniosę się w dalszej części mojej recenzji – podczas oceny merytorycznej pracy. Większość badań, które zostały użyte do realizacji założonego celu badawczego, zostało przeprowadzonych zgodnie z obowiązującymi w tym zakresie normami oraz procedurami badawczymi, o czym Doktorant informuje odwołując się do odpowiednich norm – do zagadnienia tego odniosę się jeszcze w dalszej części recenzji. Wyniki badań zostały przedstawione przez Doktoranta w sposób przejrzysty i zrozumiały dla czytelnika. Dobrze opracowane zestawienia tabelaryczne wyników, wykresy graficzne oraz zdjęcia obiektów badawczych, uwydatniają wartość merytoryczną przeprowadzonych prac. Obszar badawczy obejmował szereg technik pomiarowych pozwalających na bardzo rozległą charakterystykę surowców wejściowych (PET, ubocznych produktów spalania – popiołów), wytworzonych kruszyw kompozytowych, jak również kompozycji cementowych. Szerokie spektrum metod badawczych pozwoliło na przeprowadzenie komplementarnej charakterystyki w/w obiektów badawczych zarówno w zakresie właściwości fizycznych, jak również najbardziej znaczących właściwości użytkowych. Część badawcza jest bardzo obszerna, a wynika to nie tylko z dużej ilości zastosowanych technik pomiarowych, ale przede wszystkim z ilości opracowanych kompozycji badawczych (kruszyw kompozytowych oraz mieszanek betonowych), których można doliczyć się w liczbie 67. Przy tak dużej ilości wyników badań, za słuszną uważam również przyjętą przez Doktoranta koncepcję ich dyskusji, czyli bezpośrednio przy prezentacji określonych wyników doświadczeń. Obszerność części badawczej dysertacji nie przytłacza czytelnika zalewem zbędnych informacji, stanowi za to zbiór dobrze przemyślanych przekazów, opisujących istotę osiągnięcia naukowego i jego potencjał aplikacyjny. Moim zdaniem część doświadczalna pracy, podobnie jak część teoretyczna, zredagowana jest poprawnie. W części badawczej pojawiają się również uchybienia edytorskie, lecz w mniejszej liczbie, niż ma to miejsce w części teoretycznej dysertacji. Do poziomu merytorycznego doktoratu postaram odnieść się w dalszej części mojej recenzji.

Część badawczą pracy doktorskiej kończą wnioski, po których czytelnik może zapoznać się również z umieszczonym zestawieniem cytowanej literatury (liczącej

245 pozycji, w tym 35 norm), spis zamieszczonych w dysertacji tabel oraz spis zamieszczonych rysunków.

Podsumowując charakterystykę przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej, można powiedzieć, że ma ona klasyczny układ z podziałem na część teoretyczną i doświadczalną i jest napisana z utrzymaniem wysokich standardów.

Ocena merytoryczna

Tytuł rozprawy doktorskiej „*Metody wytwarzania oraz właściwości fizyczne i użytkowe lekkiego kruszywa kompozytowego*” pokrywa się całościowo z jej treścią. Podobnie jak tytuł, cel oraz zakres pracy odpowiadają zawartej w niej treści oraz zakresowi przeprowadzonych badań. Doktorant stawia przed sobą bardzo ciekawy i ambitny, z punktu widzenia naukowego, cel badawczy. Przyjęty przez mgr inż. Piotra Góraka cel poznawczy wpisuje się w obecnie panujące światowe trendy, czyli prace badawcze w zakresie opracowywania nowych materiałów kompozytowych. Ponadto cel pracy jest zgodny z założeniami zrównoważonego rozwoju oraz gospodarki obiegu zamkniętego, gdyż jego osiągnięcie może potencjalnie przyczynić się do ponownego zagospodarowania odpadów pokonsumenckich tworzywa sztucznego, jakim jest poli(tereftalan etylenu) oraz ubocznych produktów spalania.

Potwierdzeniem na to, są przywołane przez Doktoranta w tej części dysertacji najbardziej istotne kwestie, które będą przyświecać realizacji części badawczej doktoratu, między innymi: zaprojektowanie prostej technologii wytwarzania, korzystanie w niej z surowców w 100% odpadowych, czy zminimalizowanie wpływu na środowisko poprzez zastosowanie w proponowanej technologii ciepła odpadowego z innych procesów produkcyjnych. W tym miejscu recenzji chciałbym podkreślić użyteczne znaczenie tematyki badawczej podjętej przez mgr inż. Piotra Góraka. Poza poznawczym charakterem, który cechuje każdy rodzaj doktoratu, tę pracę cechuje także wysoki stopień aplikacyjności, co wpisuje ją w obszar prac o znaczeniu technologicznym i dużym potencjale wdrożeniowym.

Analiza aktualnego stanu wiedzy przeprowadzona przez Pana mgr inż. Piotra Góraka w zakresie przedmiotu rozprawy, w oparciu o dostępną literaturę, wydaje się być wystarczająca. Uważam, że przy tak imponującej ilości przytoczonej literatury Doktorant powinien przyjąć inny sposób jej cytowania. Zastosowany w dysertacji sposób cytowania jest charakterystyczny dla prac humanistycznych i nie pozwala na

szybkie odszukanie danej pozycji w spisie literatury. Moim zdaniem zawartość części literaturowej od strony merytorycznej jest właściwa. Wychodzę z założenia, że część literaturowa pracy doktorskiej powinna stanowić zwarte i treściwe kompendium wiedzy na temat zagadnień, które stanowią przedmiot rozprawy. Poza tym powinna wprowadzać czytelnika w część doświadczalną dysertacji i pomóc mu zrozumieć i wyjaśnić podejmowane w rozprawie problemy badawcze. Uważam, że właśnie taka jest część literaturowa przedłożonej do recenzji rozprawy. Ponadto lektura części teoretycznej daje poczucie czytelnikowi swobody poruszania się autora w tematyce i zgłębienia omawianych treści. Wiedza ta pozwoliła Doktorantowi na sformułowanie celu pracy, jak już wcześniej wspominałem, wartościowego z punktu widzenia naukowego, jak i aplikacyjnego. W pierwszej części przeglądu literatury Doktorant przedstawia zagadnienia dotyczące problematyki odpadów z tworzyw sztucznych oraz odpadów przemysłowych, jakim są uboczne produkty spalania. Akcentuje w tym miejscu, przywołując różnego rodzaju statystyki jak duża ilość w/w odpadów powstaje i jakie są formy ich ponownego zagospodarowania. Odczuwam tu pewien niedosyt informacji dotyczących recyklingu tworzyw sztucznych. Sądzę, że należało poświęcić więcej miejsca na przybliżenie poszczególnych rodzajów recyklingu tworzyw sztucznych, tj.: recyklingu materiałowego, recyklingu surowcowego (zwanego także chemicznym) oraz recyklingu energetycznego (określanego obecnie odzyskiem energetycznym). Głębsza charakterystyka rodzajów recyklingu, opisanie ich zalet oraz wad, jak również odniesienie się do nakładów energetycznych ponoszonych w dwóch pierwszych rodzajach recyklingu, pozwoliłoby lepiej zrozumieć dlaczego recykling materiałowy nie stanowi obecnie najczęściej stosowanej formy ponownego zastosowania tworzyw sztucznych. Pokazałoby również dlaczego tak duża ilość odpadów tworzywowych jest nadal składowana i uświadomiła jakie wyzwania czekają nas jeszcze w zakresie recyklingu tworzyw sztucznych. Drugi obszar tematyki opisany w tej części dysertacji, to zagadnienia związane ze stosowaniem odpadowego poli(tereftalanu etylenu) w zaprawach cementowych w różnych jego formach, co zostało umiejętnie podsumowane w tabeli 1, na stronie 21. Autor szczególną uwagę poświęca opisowi badań nad użyciem odpadowego PET jako składnika lekkich kruszyw kompozytowych. W przeglądzie literatury Doktorantowi udało się dowieść, że pomimo licznych prac badawczych w zakresie stosowalności poli(tereftalanu etylenu) w produktach cementowych, materiał

ten posiada nadal duży potencjał poznawczy. I udowadnia to w części doświadczalnej pracy.

Jak już wcześniej wspomniałem, nie dopatrzyłem się w części literaturowej pracy błędów merytorycznych, jednak Doktorant nie ustrzegł się błędów edycyjnych czy gramatycznych (dość liczne literówki, czy błędy w nazewnictwie). Postaram się poniżej przytoczyć kilka z nich:

- już w streszczeniu pracy pojawia się błąd gramatyczny, który występuje wielokrotnie w całej dysertacji. Dotyczy on użycia słowa polimer w dopełniaczu. Doktorant używa formy „*polimera*”, zamiast właściwej, tj.: polimeru. Słowo polimer w żadnym z przypadków nie występuje w formie stosowanej przez Doktoranta. Podobna uwaga dotyczy właściwej nazwy poli(tereftalan etylenu). Właściwa forma zapisu uwzględnia występowanie nawiasu po przedrostku *poli* i zamknięciu nawiasu po słowie *etylenu*. Mam odczucie, że w tym przypadku nie przyjęto żadnej zasady, gdyż pełna nazwa polimeru występuje w pracy w różnych formach zapisu. Powyższe dwie uwagi dotyczą całej dysertacji. Zostając w tematyce stosowanego nazewnictwa, chciałbym wskazać, że przyjmuje się zasadę wprowadzania w tekst skrótów, w tym przypadku skrótu PET, po umieszczeniu w tekście uprzednio pełnej nazwy. Czytelnik nie musi wiedzieć, co oznacza skrót PET, należy w pierwszej kolejności przybliżyć mu zagadnienie. Tego zabrakło w streszczeniu pracy oraz wstępnie – strona 10. W nawiązaniu do skrótów stosowanych w pracy, chciałbym zapytać jakiej zasady chronologicznej trzymał się Doktorant tworząc wykaz stosowanych oznaczeń i skrótów?
- na stronie 15 pracy zawarto zdanie: „*wpływ na jakość regranulatu – jakość regranulatu PET jest uzależniona od jakości surowca wyjściowego oraz procesu recyklingu.*”. Chciałbym zauważyć że surowce są raczej zawsze wejściowe w procesie, a wyjściowe są produkty;
- na stronie 22 pracy zawarto zdanie: „*Drugi etap polegał na dodaniu kwasów dibasowych do roztworu w celu wytworzenia żywicy poliestrowej*”. Doktorant pewnie miał na myśli w tym miejscu dodatek kwasów dikarboksylowych, gdyż nie są mi znane kwasy dibasowe;
- w tabeli 1 na stronie 21, użyto oznaczeń *vol* oraz *wt* dla procentowego dozowania objętościowego oraz masowego. Właściwym byłoby zastosowanie oznaczeń % obj. i % mas. W pracy używa się kilkakrotnie określenia: %

wagowy. Właściwym jest użycie określenia % masowych, gdyż waga to urządzenie do wyznaczania masy;

- na stronie 41 pracy zawarto zdanie: „*Natomiast potencjalna wczesna hydroliza PET w betonie może prowadzić do uwolnienia etylenoglikolu, który może powodować zmniejszenie prędkości hydratacji cementu i spowodowanie procesów utwardzania betonu*”. W tym miejscu odniosę się znów do nazewnictwa substancji chemicznych. Właściwym byłoby użycie nazwy: *glikolu etylenowego*;

- w wielu miejscach dysertacji Doktorant używa słowa „*wykorzystano*”. W moim odczuciu słowo to budzi pejoratywne odczucia i właściwszym byłoby użyć sformułowań np.: *użyto, zastosowano*;

- w tekście dopatrzyłem się około 42 błędów edytorskich i stylistycznych, między innymi: znaki interpunkcji, niewłaściwe końcówki wyrazów, powtórzenia, wtrącenia, literówki. Sądzę, że Doktorant powinien zwrócić większą uwagę na ten aspekt dysertacji.

Uwagi przedstawione powyżej oraz uchybienia nie zmieniają mojej pozytywnej opinii o tej części pracy, którą oceniam bardzo dobrze. Chciałbym ponownie podkreślić wysoki poziom merytoryczny części literaturowej doktoratu.

Ocenę części doświadczalnej chciałbym rozpocząć od słów uznania dla ogromu nakładu pracy włożonej przez Pana mgr inż. Piotra Górkę w przygotowanie materiałów badawczych oraz ich charakterystykę. Jednak meritum części badawczej doktoratu, to opracowanie technologii wytwarzania kruszyw kompozytowych oraz jej optymalizacja. Dysertacja mgr inż. Piotra Górkę jest pracą technologiczną, której nie można rozpatrywać tylko w ujęciu eksperymentalnym, gdyż cechują ją również elementy charakterystyczne dla prac projektowych i konstrukcyjnych. Mam świadomość, że bez zaprojektowania w/w pilotażowego stanowiska do wytwarzania lekkich kruszyw kompozytowych, nie byłoby obiektów badawczych, lecz równie dobrze praca mogłaby ograniczyć się wyłącznie do obszaru projektowo - konstrukcyjnego. Szersze potraktowanie zagadnienia umożliwiło opracowanie technologii wytwarzania nowatorskiego materiału, jej optymalizację oraz weryfikację w badaniach aplikacyjnych. Jak już wspomniałem w pierwszej części recenzji, prace badawcze prowadzone były przez Doktoranta na 67 kompozycjach (mam tu na myśli kruszywa kompozytowe oraz kompozycje cementowe), do tego należy doliczyć także surowce (płatki PET oraz popioły lotne). Mam też nadzieję, że nie pomyliłem się w

moich obliczeniach. Niektóre z obiektów wytworzone były w skali półtechnicznej. Jak to bywa w pracach technologicznych poprzedzają je procesy przygotowawcze, próby optymalizacji oraz pewnie liczne próby, które nie zakończyły się powodzeniem. Wszystko to daje nie dziesiątki godzin, lecz setki godzin prac badawczych. Ogrom włożonej przez mgr inż. Piotra Góraka pracy, w realizację części doświadczalnej doktoratu jest imponujący. Pomimo tak dużego obszaru badawczego Doktorant umiejętnie zaplanował całość eksperymentu. Przyjęta chronologia prac wydaje się właściwa. Doktorant każdy z etapów prac podsumowuje, a jego obserwacje stanowią wytyczne do dalszych poczynań. Część doświadczalna doktoratu to nie tylko materiały badawcze, ale również techniki pomiarowe, które pomagają zweryfikować eksperyment oraz nadać mu wymierne wartości w ujęciu naukowym i aplikacyjnym. W doktoracie użyta została tak duża liczba technik badawczych, że nie podjąłem się ich policzenia. I zabieg ten nie wynika z mojego lekceważącego stosunku do obowiązku jaki spoczywa na recenzencie, ani z mojego lenistwa, ale jest celowy. Uważam, że w części doświadczalnej doktoratu powinien znaleźć się osobny rozdział opisujący stosowaną aparaturę badawczą/pomiarową oraz opisujący metodykę przeprowadzonych badań. Z czego wynika moje przekonanie, postaram się uzasadnić poniżej. Po pierwsze, przy tak dużym zakresie badawczym taka forma sprawiłaby, iż praca stałaby się bardziej przejrzysta. Po drugie, przedstawiony do recenzji doktorat jest pracą interdyscyplinarną łączącą ze sobą aż trzy rodzaje materiałów, tj.: polimery, popioły lotne oraz kruszywa; do tego będące obiektem zainteresowań różnych obszarów nauki. Z tego powodu czytelnik powinien mieć możliwość zapoznania się ze specyfikacją zastosowanej w badaniach aparatury oraz parametrów pomiarów. W niektórych przypadkach badań jest zupełny brak tego typu informacji. Dla przykładu, jaka maszyna wytrzymałościowa została użyta do prób ściskania, czy zginania oraz z jaką prędkością przesuwu trawersy realizowano te badania? To samo pytanie dotyczy analizy termicznej. Jaki aparat został użyty do przeprowadzenia termicznej analizy grawimetrycznej oraz do skaningowej kalorymetrii różnicowej; jakie programy pomiarowe zastosowano w w/w badaniach? Po trzecie, większość przeprowadzanych w doktoracie badań jest znormalizowanych, co stanowi kolejny walor prezentowanych wyników. Autor odwołuje się w dysertacji do 35 norm, tyle zostało umieszczonych w spisie literatury oraz wielu norm w tabelach (przykładowo tabela 24, str. 104), które nie zostały zawarte w bibliografii. Powołanie się na normę badawczą i przeprowadzenie

procedury zgodnie z wytycznymi normatywnymi, nie udziela czytelnikowi pełnej informacji na temat przeprowadzonych badań. Doktorant może oczekiwać od czytelnika posiadania wysoce wyspecjalizowanej wiedzy technicznej, ale powinien dostarczyć mu informacji o stosowanej aparaturze oraz warunkach pomiaru, których zmienność norma dopuszcza, np.: wcześniej wspomniana prędkość przesuwu trawersy. Ze względu na tak dużą obszerność części badawczej pracy, sądzę, że Doktorant powinien umieścić rozdziały dedykowane bezpośrednio metodyce badawczej oraz rozważyć umieszczenie w dysertacji schematu blokowego części doświadczalnej. Przyczyniłoby się to do większej przejrzystości prezentowanych badań oraz większej swobody poruszania się w niej czytelnika.

Z obowiązku recenzenta pozwolę sobie wskazać jeszcze jedno spostrzeżenie dotyczące części doświadczalnej pracy:

- na stronie 48 doktoratu, zawarta została informacja: „*temperatura eksperymentu T_e będzie zawierała się w zakresie między 330°C – 400°C , a więc zakresie znacznie przekraczającym temperaturę topnienia PET ($\approx 250^{\circ}\text{C}$).*”. Skąd Doktorant ma pewność, że w przyjętych warunkach eksperymentu nie dochodzi do degradacji polimeru? Czy została przeprowadzona analiza termogravimetryczna zastosowanego w badaniach poli(tereftalanu etylenu), żeby wykluczyć taką możliwość?

Reasumując tę część recenzji, chciałbym podkreślić, że do realizacji pracy mgr inż. Piotr Górniak zastosował bardzo dużo technik badawczych, w tym liczne z obszaru zaawansowanych technologii. Przykładem jest użycie skaningowego mikroskopu elektronowego z przystawką EDS. Umożliwiło ono między innymi analizę mikrostruktury kompozytów cementowych pod kątem występowania procesów destrukcyjnych PET, w środowisku alkalicznym. Metody badań zostały dobrane właściwie, stosownie do realizowanego obszaru prac. Użycie tak dużej liczby technik badawczych, stosowanych w różnych dziedzinach naukowych świadczy o dużych umiejętnościach interdyscyplinarnych Doktoranta, a potwierdzenie tego odnajduje się również w opisie i interpretacji wyników.

Odnieść chciałbym się także do sposobu omówienia przez Doktoranta wyników prezentowanych badań. Ta część rozprawy doktorskiej nie budzi z mej strony jakichś istotnych uwag. Pan mgr inż. Piotr Górak w bardzo umiejętny i rzeczowy sposób przedstawiła wyniki przeprowadzonych badań, posługując się wykresami, tabelami

oraz zdjęciami. Warto zauważyć, że w większości omawianych wyników oraz występujących zależności mgr inż. Piotr Górak odnosi się do badań opisanych wcześniej w literaturze przedmiotu. Doktorant nie poprzestaje tylko na opisie uzyskanych wyników i zestawień, lecz przeprowadza ich analizę i interpretację. Wykazuje cechy dojrzałego naukowca, który nie ogranicza się do odpowiedzi na pytanie jak, ale próbuje odpowiedzieć na pytanie dlaczego. Przykładem czego może być chociażby dyskusja wyników skurczu liniowego cementowych podkładów podłogowych i wpływie na niego dodatku lekkich kruszyw porowatych, umieszczona na stronie 130 dysertacji. To ponownie potwierdza dobre przygotowanie merytoryczne Doktoranta oraz Jego biegłość poruszania się w omawianej tematyce. Chciałbym jednak prosić Doktoranta o ustosunkowanie się do kilku kwestii i prosić o odpowiedź na poniższe pytania, które mogą także wynikać z mojej niewiedzy:

- dlaczego zawarte w tabelach 5, 6, 7, 21, 22, 24 wielkości nie posiadają uwzględnionego odchylenia standardowego? Z ilu pomiarów średnią stanowią np. wyniki badań gęstości nasypowej lub objętościowej?;
- dlaczego nie wytworzono kruszywa PET+FA metodą A?;
- na stronie 59 doktoratu zamieszczono zdanie: „*Kruszywa naturalne (w tym przypadku piasek normowy 0/2 mm zastąpiono odpowiednio, objętościowo taką samą ilością CLA lub PET – według kompozycji recepturowych zaprezentowanych w tablicy 5.*”. Wydaje mi się, że Doktorantowi chodziło o tabelę 10, zawartą na stronie 60;
- na rysunku 40 a) oraz 40 b) brak jest słupków błędów dla prezentowanych wartości;
- na rysunku 42 a) oraz 42 b) słupki błędów mają taką samą wartość dla wszystkich prezentowanych wielkości – jest to chyba mało prawdopodobne. To samo dotyczy rysunków: 43, 45 oraz 46. W jednostce wytrzymałości na rys. 42 a) jest chyba błąd – wytrzymałość można podawać w MPa, nie jest mi znana jednostka Ppa. Opis osi Y na rysunku 42 b) jest w języku angielskim;
- na stronie 105 Doktorant zawarł stwierdzenie: „*Otrzymane wyniki badań nasiąkliwości WA_{24} i WA_1 są typowe dla lekkich kruszyw zawierających znaczną ilość pustek i muszą być uwzględniane przy projektowaniu i wykonywaniu lekkich betonów*”. Chciałem zapytać czy ta wiedza dotycząca wartości nasiąkliwości kruszyw jest powszechna? Jeśli nie, to należało podać charakterystyczne wartości lub odwołać się w tym miejscu do literatury;

- rozdział 7.7.5 doktoratu rozpoczyna się zdaniem: „SLS „E” w obrazie mikroskopowym to beton z udziałem kruszywa sztucznego frakcji 2/8 mm (lekkiego kruszywa ultrakompozytowego UCLA_FA uzyskanego w procesie termicznej obróbki płatków PET z mineralnym odpadem w postaci mieszanki popiołowo-żużlowej) wykonany na spoiwie mineralnym bazującym na cemencie hutniczym CEM II/A 42,5 N bez innych dodatków mineralnych”.

Zdanie to zawiera błędną informację, gdyż kruszywo oznaczone jako UCLA_FA powstało z popiołu lotnego krzemionkowego. Ta sama sytuacja dotyczy rozdziału 7.7.6 – kruszywo UCLA_ssFA powstało z popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych, a nie jak napisano w pracy z mieszanki popiołowo-żużlowej.

- chciałbym zapytać, czy Doktorant rozważał przeprowadzenie badań wytrzymałościowych, dla kompozycji zawierających opracowane kruszywa, w funkcji temperatury? Jak wiadomo piętą achillesową tworzyw polimerowych jest ich odporność temperaturowa, a ich właściwości zmieniają się diametralnie już przy małych różnicach temperatury. Tego typu badania mogłyby bardzo wzbogacić wiedzę na temat stosowalności opracowanych kruszyw.

Podsumowując wyniki przedstawionych w doktoracie prac badawczych, a także sposób ich omówienia oraz sformułowane wnioski, nie dopatrzyłem się w tej części pracy większych błędów. Da się odnotować, podobnie jak miało to miejsce w części literaturowej, niedociągnięcia edytorskie, powtórzenia oraz literówki; jednak w mniejszym stopniu niż miało to miejsce w pierwszej części pracy.

Reasumując, wartość merytoryczną przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Górki oceniam bardzo wysoko. Praca jest oryginalna i wpisuje się w panujące obecnie trendy badawcze, jej interdyscyplinarny charakter przyczynia się do rozwoju nauki w obszarze szeroko pojętej ochrony środowiska oraz nauk materiałowych; a jej technologiczny aspekt stanowi istotny wkład w rozwój Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna.

Dorobek naukowy Doktoranta

Obraz naukowca który ubiega się o tytuł tworzy nie tylko złożona do recenzji praca doktorska, ale także Jego dorobek naukowy, który stanowi dopełnienie osoby

Kandydata. Dlatego poprosiłem Promotora o dostarczenie informacji na temat działalności naukowej Doktoranta. W oparciu o otrzymane materiały oraz informacje zawarte w internetowych bazach danych, mogę stwierdzić, że dorobek naukowy Pana mgr inż. Piotra Góraka obejmuje: współautorstwo 1 patentu, współautorstwo 2 zgłoszeń patentowych, współautorstwo 8 publikacji, w tym jako pierwszy autor występuje w 6 publikacjach. Cztery publikacje Doktoranta, ukazały się w czasopiśmie indeksowanych w bazie JCR. Należy także podkreślić, że w dorobku Doktoranta znajdują się również prace niezwiązane z przedłożoną do oceny dysertacją. Publikacje Doktoranta, na dzień dzisiejszy, cytowane są 39 razy (dane według Scopus) przez innych autorów, co stanowi potwierdzenie aktualności i atrakcyjności prezentowanej w nich tematyki. Powyższa ilość cytowań przełożyła się na wartość indeksu Hirsha, według bazy Scopus $h = 4$. Ponadto Doktorant był kierownikiem licznych projektów badawczych realizowanych w przemyśle. Dorobek naukowy mgr inż. Piotra Góraka, jak dla osoby nie związanej zawodowo z jednostką naukową, oceniam jako imponujący.

Podsumowanie

Przechodząc do podsumowania recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Góraka pt.: „*Metoda wytwarzania oraz właściwości fizyczne i użytkowe lekkiego kruszywa kompozytowego*”, mogę z pełnym przekonaniem powiedzieć, że praca stanowi oryginalne osiągnięcie o charakterze poznawczym oraz użytkowym. Efektem wymiernym doktoratu jest opracowanie technologii pozwalającej na wytworzenie nowatorskich kruszyw kompozytowych. Ponadto praca dostarcza szeregu informacji na temat opracowanych materiałów, od ich podstawowych właściwości, po efekty ich zastosowania w rzeczywistych warunkach. Pragnę jeszcze raz podkreślić, że koncepcja pracy, założone cele poznawcze - sposób ich realizacji, ilość zastosowanych technik badawczych i pomiarowych w połączeniu z interpretacją uzyskanych wyników, a także dorobek publikacyjny Doktoranta, potwierdzają Jego wysokie kompetencje naukowe oraz badawcze. Kończąc powyższą recenzję, chciałem powiedzieć, że dużą umiejętnością jest przedstawienie tak dużego przekazu wiedzy technicznej w sposób zrozumiały i przystępny dla czytelnika. W moim odczuciu, udało się to Autorowi, a lektura doktoratu była dla mnie przyjemnością. Dlatego jednoznacznie stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska Pana mgr inż. Piotra Góraka **w dyscyplinie naukowej Inżynieria**

Mechaniczna spełnia wymogi ustawowe stawiane rozprawom doktorskim [**Ustawa Prawo szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U. 2018 poz 1668 z późn. zm)**].

Wniosuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Częstochowskiej o przyjęcie pracy i przeprowadzenie dalszych etapów **postępowania o nadanie stopnia doktora**.

Jednocześnie, biorąc pod uwagę aktualność podjętej tematyki, poziom merytoryczny doktoratu, ogrom zrealizowanych prac badawczych oraz znaczący dorobek naukowy Doktoranta, wniosuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Częstochowskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Górnika.

Poznań, dnia 15 stycznia 2024 r.

Arkadiusz Kloziński

dr hab. inż. Arkadiusz Kloziński