dr hab. inż. **Jacek Domski** – prof. PK
Politechnika Koszalińska
Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji
Katedra Budownictwa i Materiałów Budowlanych
ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin

Koszalin 01.12.2023 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Agnieszki Kocot

pt. „Możliwość alternatywnego zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych jako kruszywo w kompozytach o spoiwie cementowym lub geopolimerowym"

1. Podstawy opracowania recenzji

1.1 Podstawa formalna

Recenzja została sporządzona na podstawie umowy o dzieło UMC/3279/2023, z dnia 09.10.2023 r., zawartej pomiędzy Politechniką Śląską w Gliwicach, ul. Akademicka 2A, reprezentowaną przez Dziekana Wydziału Budownictwa, prof. dr. hab. inż. Joannę Bzówkę, a recenzentem, dr. hab. inż. Jackiem Domskim, prof. PK.

Niniejsza umowa została sporządzona w związku z wyznaczeniem, przez Radę Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej w Gliwicach (uchwała z dnia 21 września 2023 r.), dr. hab. inż. Jacka Domskiego, prof. PK, jako recenzenta rozprawy doktorskiej mgr. inż. Agnieszki Kocot, pt. „Możliwość alternatywnego zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych jako kruszywo w kompozytach o spoiwie cementowym lub geopolimerowym", w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

1.2 Podstawa prawna

Recenzja, zgodnie z pismem, z dnia 10.10.2023 r., Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa Geodezja i Transport (RDILGT.512.21.2022), dr. hab. inż. Marcina Staniek – prof. PŚ, została opracowana z uwzględnieniem wymagań ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późniejszymi zmianami) oraz Poradnika Rady Doskonałości Naukowej w zakresie recenzji w postępowaniach o awans naukowy (2022 r.).

Wpłynęło dnia 7.12.2023 r.

2. Ocena układu rozprawy doktorskiej

Recenzowana praca napisana została poprawnym językiem technicznym. Została przedstawiona na 208 stronach wydruku komputerowego w formacie A4 i składa się z dziesięciu głównych rozdziałów: wstępu; stanu wiedzy; podsumowania analizy literatury; celu, tezy oraz zakresu pracy; charakterystyki badań, materiałów; wyników badań; wniosków końcowych; podsumowania; realizacji projektu; bibliografii oraz jednej nienumerowanej części (wykazu skrótów). Pod względem formalnym recenzowana praca nie budzi zastrzeżeń - posiada logiczny i spójny układ treści. Ponadto zauważono w niej drobne błędy introligatorskie, stylistyczne i interpunkcyjne, których opis zamieszczono w rozdziale 7.

3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w rozprawie doktorskiej

W recenzowanej pracy wykorzystano 146 pozycji bibliograficznych. Wszystkie pozycje literaturowe zostały poprawnie przywołane w rozprawie. Są to przede wszystkim artykuły naukowe i pokonferencyjne, książki i źródła elektroniczne. Spośród zaprezentowanych w rozprawie pozycji literaturowych, artykuły naukowe stanowią zdecydowaną większość. Są to artykuły w języku angielskim (109 pozycji) i polskim (2 pozycje), opublikowane w latach od 1996 r. do 2023 r. – głównie z ostatnich kilku lat. Drugim rodzajem piśmiennictwa, co do ilości, są książki (13 szt.), wydane w latach 1999-2021, z czego cztery pozycje są polskojęzyczne. Artykuły pokonferencyjne stanowią nieliczną grupę pozycji literaturowych – łącznie 3. W bibliografii zamieszczono również kilkanaście adresów stron internetowych, patenty, deklaracje i karty charakterystyki różnych materiałów.

Należy zauważyć, że przedstawiony w rozprawie spis literaturowy jest dość obszerny i aktualny. Większość pozycji literaturowych jest z okresu ostatnich kilku lat, co świadczy o tym, że podjęta przez Doktorantkę tematyka jest aktualna i wpisuje się w bieżący nurt ogólnoświatowy.

4. Ocena celu i tezy rozprawy oraz zakresu zrealizowanych badań

Zasadniczym celem recenzowanej pracy było ***sprawdzenie zasadności stosowania odpadowego tworzywa sztucznego jako alternatywnego kruszywa w kompozytach cementowych lub aktywowanych alkalicznie.*** Cel ten został sformułowany poprawnie oraz został zrealizowany. Dodatkowo autorka rozprawy podjęła się próby ***znalezienia sposobu na zminimalizowanie negatywnego wpływu kruszywa odpadowego w kompozytach na parametr wytrzymałości na ściskanie zapraw.*** W tym celu Doktorantka modyfikowała powierzchnię tworzywa sztucznego poprzez obróbkę mechaniczną, zastosowanie różnych substancji (kwasowych i zasadowych) oraz dobierała odpowiednie frakcje ww. kruszywa. Należy zauważyć, że ten cel rozprawy nie został w pełni osiągnięty, choć wykonano bardzo obszerny zakres badań.

W opiniowanej rozprawie sformułowano dwie tezy. Pierwsza brzmi następująco: „***Tworzywo sztuczne jako substytut kruszywa naturalnego w kompozytach cementowych może mieć pozytywny wpływ na wybrane parametry wytrzymałościowe lub trwałościowe***" i jest sformuło-

wana poprawnie. Postawiona teza została udowodniona, w zakresie poprawy trwałości wybranych kompozytów, rozumianej jako odporność na uderzenia, i ograniczenia swobody przepływu chlorków oraz częściowo w zakresie mrozoodporności. Druga teza rozprawy została sformułowana następująco: ***„Istnieje metoda pozwalająca na stosowanie odpadów z tworzywa sztucznego jako kruszywa w kompozytach cementowych lub aktywowanych alkalicznie, bez redukcji parametru wytrzymałości na ściskanie"***. Jak wynika z treści opiniowanej rozprawy, drugiej tezy nie udało się potwierdzić, gdyż nie znaleziono niezawodnej metody modyfikacji tworzywa sztucznego, pozwalającej uzyskać wytrzymałość na ściskanie analizowanych kompozytów, na poziomie zapraw kontrolnych. Jednak, nie można jej jednoznacznie odrzucić. Dodatkowo Doktorantka postawiła cztery hipotezy pomocnicze: ***„a. Czy dobór rodzaju oraz frakcji tworzywa sztucznego może wpłynąć pozytywnie na wytrzymałość kompozytu na ściskanie?, b. Czy kruszywo z tworzywa sztucznego może wpłynąć pozytywnie na wybrane parametry kompozytów (udarność, mrozoodporność, przepuszczalność chlorków)?, c. Czy mechaniczna lub chemiczna modyfikacja odpadów z tworzywa sztucznego może wpłynąć pozytywnie na parametry zapraw?, d. Czy kompozyty aktywowane alkalicznie, zawierające kruszywo alternatywne będą uzyskiwały wyniki zbliżone do kompozytów cementowych?"***. Hipoteza „a" nie została potwierdzona, ponieważ niezależnie od rodzaju i frakcji stosowanego tworzywa sztucznego, wytrzymałość na ściskanie kompozytów była niższa od zaprawy wzorcowej. W przypadku hipotezy „b" uzyskano potwierdzenie. Można ją utożsamiać z pierwszą tezą rozprawy, która została udowodniona. Hipoteza „c", dotycząca wpływu obróbki mechanicznej lub chemicznej na wybrane właściwości kompozytów z dodatkiem tworzywa sztucznego, nie została ostatecznie potwierdzona, choć w badaniach w małej skali wyniki były zadawalające. Również hipoteza „d" nie została potwierdzona, ponieważ zaprawy aktywowane alkalicznie, zawierające kruszywo alternatywne, osiągnęły wyniki różniące się od wyników uzyskanych dla próbek cementowych.

Zaprezentowane w rozprawie badania podzielono na kilka etapów i dotyczą one zastosowania tworzywa sztucznego w zaprawach. W tym celu zastępowano kruszywo naturalne (piasek) tworzywem sztucznym w ilości nie większej niż 10% objętości piasku. W pierwszym etapie badań przeanalizowano wpływ czterech różnych tworzyw sztucznych na wybrane właściwości kompozytów. Na podstawie uzyskanych wyników, do dalszej analizy wybrano najbardziej odpowiedni rodzaj tworzywa alternatywnego (płatki PET) i określono jego optymalną kompozycję frakcji. Kolejnym etapem badań była modyfikacja powierzchni wybranego tworzywa sztucznego w celu zwiększenia jego przyczepności na granicy faz z zaczynem cementowym. Polegała ona na modyfikacji chemicznej (zanurzenie w roztworze kwasowym lub zasadowym) i mechanicznej (podczas procesu mieszania w specjalnym cylindrze w towarzystwie stalowych kul) płatów PET. Wyniki przeprowadzonych prób modyfikacji powierzchni płatów PET okazały się niesatysfakcjonujące, dlatego też do dalszych badań przyjęto niezmodyfikowane płatki PET, o ustalonej wcześniej odpowiedniej frakcji. Pobocznym, aczkolwiek dość istotnym etapem badań, było sprawdzenie możliwości wykorzystania odpadów z tworzyw sztucznych jako zamiennika kruszywa naturalnego w zaprawach, w których spoiwem nie był cement. Zakres zaplanowanych badań został zrealizowany w całości i należy go ocenić pozytywnie, choć w kliku obszarach występują pewne wątpliwości, podane w pkt. 7 niniejszej recenzji.

5. Ocena zastosowanych technik i metod badawczych

Recenzowana praca jest przykładem zastosowania w badaniach zarówno tradycyjnych jak i nowoczesnych metod i technik pomiarowych. Tradycyjne techniki i metody pomiaru obejmowały: badanie rozpływu mieszanek, określone przy użyciu stolika rozpływu zgodnie z PN-EN 1015-3:2000; badanie zawartości powietrza, oznaczone wg PN-EN 1015-7:2000; badanie mrozoodporności wg PN-B-06265:2018; badanie wytrzymałości na zginanie na próbkach o wymiarach 40 mm x 40 mm x 160 mm, zgodnie z PN-EN 1015-11:2020 oraz badanie wytrzymałości na ściskanie, wykonane na połówkach beleczek po badaniu rozciągania przy zginaniu, zgodnie z PN-EN 1015-11:2020. Nowoczesne i niekonwencjonalne metody i techniki pomiarowe posłużyły do wyznaczenia kilku cech i właściwości badanych kompozytów. Określono m.in. energię pękania na podstawie PN-EN 14158:2005 (w tym celu zaadaptowano normę dotyczącą wyrobów kamiennych), przepuszczalność chlorków (jak dla betonów) wg ASTM C-1202-97. Zastosowano również betonoskop Pundit Lab (Lab+) w celu wykrywania zmian zachodzących w strukturze zapraw podczas badania mrozoodporności. Dodatkowo przeprowadzono analizę SEM i EDS zapraw, przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (JSMIT100), który był wyposażony w system aQUANTAXEDX wraz z oprogramowaniem ESPRIT 2. Część zdjęć zapraw wykonanych przez SEM poddano dodatkowo analizie w programie ImageJ.

Zastosowane w pracy nowoczesne i tradycyjne techniki pomiaru świadczą o dobrym opanowaniu przez Doktorantkę nabytej wiedzy technicznej i umiejętnym jej stosowaniu w praktyce.

6. Ocena dotycząca omówienia wyników badań

Zaprezentowane w pracy badania podzielono na kilka etapów. Analizę ich wyników przeprowadzono po każdym z zakończonych etapów. W pierwszej kolejności określono wpływ rodzaju kruszywa sztucznego (płatki PET, rozdrobniony HDPE, granulat PET i proszek PVC) na gęstość, konsystencję, zawartość powietrza, wytrzymałość na zginanie oraz wytrzymałość na ściskanie zapraw. Przeprowadzono również analizę statystyczną, która wykazała istotne różnice w wytrzymałościach dla poszczególnych wariantów badania oraz analizę SEM, która uwidoczniła spękania zaczynu przy powierzchni tworzywa sztucznego (w miejscach jego koncentracji). Ostatecznie, do dalszych analiz, przyjęto tworzywo sztuczne w postaci płatków PET.

W dalszej kolejności wykonano serię badań obejmujących sprawdzenie wpływu rozmiaru płatków PET na wybrane właściwości kompozytów. Dysponując frakcjami płatków PET w przedziałach 0-4 mm i 4-8 mm stworzono cztery kombinacje kruszyw alternatywnych. Pierwsze kruszywo składało się z 25% frakcji 0-4 mm i 75% frakcji 4-8 mm. Drugie kruszywo miało proporcje frakcji po 50%, zaś kolejne dwa kruszywa sztuczne były jednofrakcyjne. Przeprowadzono badania po 24 lub 48 godzinach oraz po 28 dniach od wykonania próbek. Określono gęstości, wytrzymałości na zginanie, wytrzymałości na ściskanie kompozytów cementowych z dodatkiem płatów PET. Wykonana analiza statystyczna wykazała, że występuje silna korelacja pomiędzy wytrzymałością na ściskanie a ilością zastosowanego kruszywa alternatywnego. Jednocześnie można zauważyć, że wytrzymałość na ściskanie nie jest uzależniona od wielkości

tworzywa sztucznego w przypadku zapraw z 10% zawartością płatków PET, czego nie można zaobserwować w próbkach z 5% zawartością płatków PET. Ostatecznie, do dalszych badań, przyjęto kruszywo alternatywne składające się z 25% frakcji 0-4 mm i 75% frakcji 4-8 mm.

Kolejny etap badań obejmował określenie energii pękania kompozytów, określonej na próbkach o wymiarach 200mm x 200mm x 30mm. Wyniki badań energii pękania wykazały wyraźny jej wzrost wraz ze wzrostem ilości wytypowanego kruszywa alternatywnego.

Następnym badaniem było badanie mrozoodporności. W tym celu wykonano beleczki o wymiarach 40 mm x 40 mm x 160 mm oraz kostki o boku 100 mm. Wpływ ilości cykli zamrażania i odmrażania określano poprzez badanie gęstości, prędkości rozchodzenia się fal dźwiękowych oraz wytrzymałości na zginanie i wytrzymałości na ściskanie. Próbki poddano różnym ilościom cykli zamrażania i rozmrażania, a cześć z nich była poddana procesowi suszenia. Wiek próbek podczas badań wytrzymałościowych wahał się w przedziale od 71 do 129 dni. Przeprowadzona analiza wyników wykazała, że gęstość zapraw poddanych cyklom zamrażania nie uległa znacznym zmianom. Analiza statystyczna wykazała, że wytrzymałość na ściskanie dla próbek podanych ww. cyklom nie jest skorelowana z zawartością płatków PET. Badanie to nie dało jednoznacznej informacji dotyczącej wpływu kruszywa alternatywnego na mrozoodporność analizowanych kompozytów.
Kolejne badanie polegało na określeniu przepuszczalności chlorków dla trzech próbek walcowych o średnicy 95 mm i wysokości 50 mm (uzyskanych z jednej formy o długości 350 mm). W tym przypadku możliwe było określenie przepływu na trzech poziomach, w odniesieniu do położenia próbki w przygotowywanej formie (góra, środek i dół). Wyniki badań odczytywano po czasie 3,5 i 6 godzin przebywania próbki w pojemniku próżniowym. Analizując wyniki z badań można zauważyć, że próbki z dolnej części formy cechują się niższym przepływem, co może świadczyć o ich zwiększonej gęstości. Zmniejszenie przepływu chlorków odnotowano jedynie dla najwyższej ilości dozowanego kruszywa alternatywnego (tj. 10%).

Badania w zakresie modyfikacji chemicznej płatków PET przeprowadzono poprzez ich umieszczenie w różnych substancjach (wodorotlenku sodu, kwasie solnym i wodzie o temperaturze 100 stopni C) na różny okres czasu (2, 24 i 0,2 godziny). Po przeprowadzonej kąpieli wykonano pięć kompozytów z 5% zawartością zmodyfikowanego kruszywa alternatywnego. Określono gęstość, wytrzymałość na zginanie i wytrzymałość na ściskanie. Przeprowadzona, po namaczaniu w ww. substancjach, analiza SEM (Scanning Electron Microscopy) płatków PET wykazała, że na styku zaprawy i płatków, w przypadku potraktowania ich wodorotlenkiem sodu, występuje więcej spękań w porównaniu do namaczania ich w kwasie solnym i we wrzącej wodzie. Przeprowadzona analiza EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) uwidoczniła, że modyfikacja płatków PET za pomocą NaOH oraz HCl nie spowodowała formowania się nowych kryształów na ich powierzchni. Ostatecznie przeprowadzone badania wykazały, że żadna z zaproponowanych modyfikacji chemicznych powierzchni płatków PET nie przyniosła pożądanego efektu w postaci wzrostu cech wytrzymałościowych badanych kompozytów z dodatkiem kruszywa alternatywnego.

W dalszej kolejności podjęto próbę modyfikacji mechanicznej płatków PET, w celu poprawy cech wytrzymałościowych kompozytów z kruszywem alternatywnym. W tym celu przeprowadzono badanie wytrzymałości na ściskanie, po dwóch dniach dojrzewania próbek, o wymiarach

12 mm x 12 mm x 61mm, z 2% zawartością kruszywa sztucznego o zróżnicowanych frakcjach. Uzyskane wyniki wskazują, że jedna z zapraw, zawierająca płatki PET w ilości 1-4 mm, uzyskała wytrzymałość na ściskanie wyższą niż próbka kontrolna. Na tej podstawie zdecydowano, że przeprowadzone zostaną badania na większych beleczkach, o wymiarach 40 mm x40 mm x160 mm. W tym przypadku zastosowano wytypowane wcześniej kruszywo o uziarnieniu (25% frakcji 0-4 mm i 75% frakcji 4-8 mm) i poddano modyfikacji mechanicznej. Polegała ona na zastosowaniu podczas mielenia różnej ilości kul i obrotów bębna. Ostatecznie posłużyło to do stworzenia czterech kompozytów z modyfikowanym mechanicznie kruszywem alternatywnym w ilości 5% i 10%. Przeprowadzona analiza wytrzymałości na ściskanie wykazała, że brak jest wpływu ww. modyfikacji na wytrzymałość analizowanych kompozytów i jednocześnie uzyskane wytrzymałości są mniejsze od wartości otrzymanej na próbce kontrolnej.

Ostatnim etapem badań była ocena wpływu dodatku płatków PET w ilości 5% w zaprawach bezcementowych. W pierwszej kolejności przeprowadzono badania nad częściowym zastąpieniem cementu w zaprawach, w ilości 10% i 50% jego masy, przez metakaolin (bez wykorzystania aktywatora). Próbki dojrzewały w środowisku wodnym lub w worku strunowym. Badania obejmowały określenie gęstości (po 24h i 28 dniach), wytrzymałości na zginanie (po 28 dniach) i wytrzymałości na ściskanie (po 28 dniach). Z przeprowadzonych badań wynika, że redukcja cementu o 10% i zastąpienie go przez metakaolin spowodowała niewielki wzrost wytrzymałości na zginanie i wytrzymałości na ściskanie, przy niższej gęstości analizowanego kompozytów. Przeprowadzono również analizę SEM, która wykazała zagęszczenie struktury zaprawy po dodaniu 10% metakaolinu. Zwiększenie jego ilości do 50% powodowało wzrost porowatości i spadek cech mechanicznych kompozytów. Dodatkowo analiza EDS wykazała cząstki sproszkowanego szkła, które zostało dodane do metakaolinu na etapie jego produkcji. Natomiast nie wykazano obecności wapnia, który jest jednym z głównych składników cementu portlandzkiego. W dalszej kolejności badań postanowiono sprawdzić, jaki rodzaj aktywatora jest optymalny dla geopolimerowych zapraw, których spoiwem był metakaolin. Był on aktywowany za pomocą: wodorotlenku sodu, szkła wodnego oraz ich mieszanin, w stosunku masowym 1:1. Aktywatory miały stężenie 5% oraz 5 moli. Badania przeprowadzono z uwagi na gęstość, wytrzymałość na zginanie i wytrzymałość na ściskanie analizowanych kompozytów. Z uzyskanych wyników badań wynika, że gęstość stwardniałych zapraw jest znacznie niższa w porównaniu do zapraw cementowych. Natomiast analiza cech wytrzymałościowych wykazała, że zaprawy aktywowane 5% roztworami uzyskały bardzo niskie wartości. Dozowanie aktywatorów w postaci roztworów 5 molowych prezentowało się korzystniej, uzyskując w jednym przypadku wytrzymałość na ściskanie około 6 MPa. Z uwagi na niewielki wpływ powyższych zabiegów na cechy wytrzymałościowe kompozytów, w dalszej części badań skupiono się na zaprawach aktywowanych alkalicznie. W tym celu zastosowano dwa różne rodzaje spoiwa - metakaolin oraz mielony granulowany żużel wielkopiecowy, a także ich mieszaninę w stosunku 1:1. W tym przypadku aktywatorem był roztwór szkła wodnego z dodatkiem wodorotlenku sodu. Jego moduł alkaliczny wynosił 1,5, a jego ilość dobrano tak, aby masa stałych składników roztworu stanowiła 10% oraz 20% masy spoiwa. W pierwszej kolejności określono wskaźnik wody do spoiwa tak, aby konsystencja badanych mieszanek była jednakowa. Wykonane próbki, po godzinie od zaformowania, umieszczane były w piecu, w którym temperatura wynosiła od 40 do 80 stopni Celsjusza. Przykryte folią przebywały w nim przez 12 godzin,

a następnie wyciągano je z pieca, gdy temperatura spadła do około 30 stopni. Próbki rozformowano po godzinie przechowywania w temperaturze pokojowej. Dalsze kondycjonowanie próbek odbywało się w szczelnie zamkniętych woreczkach, w temperaturze pokojowej, przez 27 dni. Analizę wyników badań przeprowadzono z uwagi na gęstość (po 24h i 28 dniach), wytrzymałość na zginanie (po 28 dniach) i wytrzymałość na ściskanie (po 28 dniach). Wynika z niej, że zaprawy zawierające metakaolin nie osiągnęły satysfakcjonujących wyników. Metakaolin spełnił swoją rolę jako wypełniacz zaprawy, natomiast nie nadawał się jako samodzielne spoiwo, z kolei mielony granulowany żużel wielkopiecowy sprawdził się jako spoiwo w zaprawach, którym zaaplikowano podwyższoną temperaturę na etapie twardnienia próbek. Tymczasowe ich dojrzewanie w podwyższonej temperaturze pozwoliło zwiększyć wytrzymałość na ściskanie próbek kompozytowych w przypadku zastąpienia kruszywa naturalnego płatkami PET z 10 i 20% zawartością aktywatora. Analiza SEM wykazała różnice w mikrostrukturze zapraw dojrzewających w odmiennych temperaturach. Wraz ze wzrostem temperatury obserwowano więcej spękań w strukturze zaprawy w pobliżu płatków PET. Sprawdzono również wpływ podwyższonej temperatury podczas dojrzewania zapraw cementowych. W tym przypadku zaobserwowano spadek wytrzymałości na ściskanie wraz ze wzrostom temperatury.

Reasumując można stwierdzić, że przeprowadzone analizy wyników badań są wykonane starannie i nie budzą większych wątpliwości. Natomiast cześć z nich wymaga wyjaśnienia i uzupełnienia (patrz. pkt. 7).

7. Słabe strony rozprawy, jej główne wady oraz zagadnienia dyskusyjne

Pomimo, że recenzowana praca została przygotowana bardzo starannie, Autorka nie uniknęła błędów, zarówno redakcyjnych jak i merytorycznych. Proszę o ustosunkowanie się do poniższych uwag merytorycznych:

- Z czego wynika przyjęta kolejność prezentowanych poszczególnych zmiennych i jaki jest sens oczekiwanej normalnej na następujących rysunkach: str. 29 rys. 12, str. 30 rys. 13, str. 31 rys. 14, str. 32 rys. 15 itd.

- W stanie wiedzy, w punkcie 2.1.5 (Modyfikacja tworzywa sztucznego, str. 58 wers 17 od dołu), podano że: „Wykorzystano do tego metodę mechanicznej modyfikacji, środki chemiczne lub ...", natomiast w punkcie 3 (str. 60 wers 3 od dołu) znajduje się informacja: „Również nie spotkano się z mechaniczną próbą modyfikacji tworzywa sztucznego, w celu ...". Proszę wyjaśnić różnice w mechanicznej modyfikacji tworzywa sztucznego, opisane w literaturze i zaproponowane w pracy.

- Z jakich względów ilość dozowanego kruszywa alternatywnego nie była jednakowa w każdym z badań (np. str. 66 tabela 11). W niektórych badaniach dozowano go tylko w ilości 2% lub 5%, a czasami 5% i 10% lub 2%, 5% i 10%? Z czego wynika taka rozbieżność? Czy mogło to mieć wpływ na uzyskane wyniki i sformułowane wnioski?

- Z jakich względów w kompozytach, z których wykonane były małe beleczki 12 mm x 12 mm x 61mm (str. 89, tabela 24) miały inny skład frakcji PET, niż duże beleczki 40 mm x 40 mm

x 160 mm? Przecież dobór frakcji kruszywa sztucznego miał miejsce we wcześniejszych punktach (patrz. rys. 25)? W jaki sposób badano beleczki małe i duże? Czy badana była również wytrzymałość na zginanie? Jeżeli tak, to dlaczego tych wyników nie zamieszczono w rozprawie?

- W tabeli nr 33 (str. 108) podano, że analizowano kompozyty z zawartością PET 2%, 5% i 10%; z jakich względów nie zamieszczono w dalszej części rozprawy wyników dla kompozytów z 2% zawartością kruszywa? Z jakich względów pomięto je w rozważaniach na kolejnych rysunkach (rys. 56, 58)?

- Proszę wyjaśnić stwierdzenie (str. 122 wers 11 od dołu): „Prawdopodobnie ze względu na błąd urządzenia w 47 dniu badania występuje nagły pik (drastyczna redukcja prędkości)" i (str. 133 wers 12 od dołu): „Biorąc pod uwagę silne korelacje występujące w przypadku beleczek można stwierdzić, że w dniu wykonywania pomiaru betonoskop nie działał prawidłowo". Skąd wiadomo, że to był rzeczywiście błąd urządzenia? W jaki sposób weryfikowano odczyty betonoskopu? Czy wykonywano weryfikację jego odczytu przed i po badaniu? Może należało powtórzyć badania?

- Proszę wyjaśnić, dlaczego podczas badań przepuszczalności chlorków nie określono gęstości próbek, wówczas można by potwierdzić zapis (str. 138 wers 9 od dołu) „Możemy zaobserwować, że wycinki próbek pobranych z dolnych partii cylindra cechują się niższym przepływem, co może świadczyć o ich zwiększonej gęstości".

- Proszę odnieść się do sformułowania (str.154, wers 9 od dołu): „Jednakże punkt został ustanowiony w obszarze częściowo pokrytym żywicą, co mogło wpłynąć na pomiar." Może należało wybrać inny punkt do analizy EDS?

- Cześć wyników charakteryzowała się dużym rozrzutem wyników badań: str. 156 rys. 105, str. 167 rys. 115, str. 168 rys. 116, str. 169 rys. 117. Dlaczego nie powtórzono pojedynczych pomiarów?

- Proszę wyjaśnić poszczególne słupki, oznaczające średnicę rozpływu na rysunku 119 str. 171.

Uwagi redakcyjne i introligatorskie:

- Sklejona pierwsza strona z widocznymi zagięciami oraz oprawa pracy z wyraźnymi przesunięciami kartek. Niewłaściwe umiejscowione stopki m.in. z numerem strony itd., np.: str. 23 i 24.

- Niejasne sformułowania: (str. 14 wers 8 od góry) „Na wykresie poniżej (Rys. 5) przedstawione dane udostępnione przez Organizację Współpracy Gospodarczej i Rozwoju OECD (*Organisation for Economic Cooperation and Development*) zarządzania odpadami z tworzyw sztucznych dla poszczególnych państw należących do inicjatywy oraz dla pozostałych wybranych państw."; (str. 100 wers 2 od dołu) „Może to być spowodowane przez wypełnienie porów przez drobny pył, który jest wyczuwalny potarciu granulatu" (str. 101 wers 2 od dołu) „ Najsłabszą wytrzymałość natomiast zaprawa zawierająca dodatek z płatków PET w ilości 10% objętości piasku.".

- Brak kropek: str. 17 wers 14 od góry (po cytowaniu [32]) lub przecinków: str. 30 wers 5 od dołu (po słowie mieszanki).

- Str. 18 wers 4 od góry: jest „ceny" powinno być „cena"; str. 53 wers 2 od dołu: jest „w" powinno być „ "; str. 86 wers 4 od dołu: jest „97" powinno być „22"; str. 87 wers 16 od dołu: jest „Trzecia" powinno być „Trzecią"; str. 146 wers 3 od góry: jest „potraktowanych" powinno być „poddanych działaniu", str. 174 wers 3 od dołu: jest „zmalało" powinno być „zmalała", str. 176 wers 2 od dołu: jest „ściskanie" powinno być „zginanie".

- Nieprecyzyjny opis pod rysunkami, np.: str. 22 rys. 10 „Histogram wytrzymałości na ściskanie, zginanie oraz gęstości objętościowej w stosunku do próbek kontrolnych: ściskanie, zginanie, gęstość"; str. 39 rys. 21 „Histogram na podstawie analizy literatury, wytrzymałość na zginanie, badanie wytrzymałości na zginanie"; lub brak jednostki na osi poziomej wykresu: str. 28 rys. 11, str. 33 rys. 16, itd.;

- Powtórzenia lub zbędne wyrażania: (str. 43 wers 2 od góry) „wytrzymałość na zginanie" – analizowana była w punkcie 2.1.1; str. 165 wers 1-4 od dołu porównaj z str. 166 wers 8-11 od góry.

- Gorsza jakość niektórych rysunków lub kolory mało różniące się: str. 68 rys. 26b); str. 93 rys. 42; str. 19 rys 8;

- Na niektórych rysunkach wykresy przedstawione są w postaci funkcji. Jeżeli rzeczywiście był taki zamiar, to należałoby podać równanie tej funkcji: str. 76 rys. 31, str. 115 rys. 63, str. 127 rys. 79, str. 192 rys. 133. Natomiast na innych wykresach są przedstawione wyniki badań bez informacji o rozrzucie wyników: str. 117 rys. 64, str. 119 rys. 69, str. 120 rys. 70, itd.

- W bibliografii, w niektórych pozycjach, brakuje nazwy wydawnictwa, numeru ISBN, itp.: pozycje 1, 3, 8, 18, 20, 21, 22, 48, 132 i 133 (str. 202, 204, 208), powtarzają się te same pozycje: 132 i 133 (str. 208), lub są one błędnie opisane: pozycje 21 i 49 (str. 202 i 204), a czasem ich brak (str. 70 wers 17 od góry) po dr Abeer Alasady Humad.

8. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej

Wiedzę teoretyczną Doktorantki, zaprezentowaną w jej rozprawie, można określić na podstawie przedstawionego dość obszernego przeglądu literaturowego. Obejmuje on informacje o wpływie dodatku tworzywa sztucznego PET na parametry zapraw i betonów. W tym celu Doktorantka przeprowadziła analizę stanu wiedzy w zakresie wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na zginanie, wytrzymałości na rozciąganie, udarności, konsystencji, gęstości objętościowej oraz prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w kompozytach z dodatkiem PET. Kolejnym elementem przeglądu literaturowego była informacja o różnych spoiwach aktywowanych alkalicznie, takich jak metakaolin i mielony granulowany żużel wielkopiecowy oraz o samych aktywatorach. Przeprowadzono również analizę bibliografii w zakresie modyfikacji tworzywa sztucznego różnymi metodami (mechanicznymi, chemicznymi lub poprzez zastosowanie zupełnie innego podejścia). Wyciągnięte na podstawie przeprowadzonego przeglądu literaturowego wnioski skłoniły Doktorantkę m.in. do przeprowadzenia badań w zakresie

zastosowania odpadów z tworzywa sztucznego jako alternatywnego kruszywa w różnych kompozytach, dodatkowo przy zmianie temperatury podczas dojrzewania próbek.

Ogólną wiedzę Dyplomantki prezentują również przeprowadzone w rozprawie analizy statystyczne wyników badań, przy użyciu program Statistica. W wielu przypadkach przyjęto hipotezę, że rozkład analizowanych wyników ma charakter normalny, dlatego przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji Anova. W przypadku, gdy rozkład wyników odbiegał on normalnego, przeprowadzono m.in. test Kruskala-Wallisa. W celu weryfikacji postawionej hipotezy posłużono się różnymi testami zgodności, m.in. Shapiro-Wilka. W celu określenia zależności pomiędzy poszczególnymi wynikami przeprowadzono m.in. test post-hoc Scheffego oraz korelację rang Spearmana, korelację Pearsona lub test Manna-Whitneya, z poprawką na ciągłość za względu na niedopasowanie do rozkładu normalnego.

Z powyższego wynika, że ***recenzowana rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną mgr. inż. Agnieszki Kocot,*** ze szczególnym ukierunkowaniem na dyscyplinę inżynieria lądowa geodezja i transport.

9. Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Autorka pracy wspomniała, m.in. w punkcie 5.4.7.1, że część z prezentowanych badań zrealizowała na zagranicznym stażu naukowym w Szwecji. Odbycie zagranicznego stażu naukowego jest niewątpliwie jednym z elementów prowadzenia pracy naukowej. Dodatkowo Doktorantka współrealizowała projekt nr POWER.03.05.00-00-z098/17 pt.; „Politechnika Śląska jako Centrum Nowoczesnego Kształcenia opartego o badania i innowacje" Moduł V-Studia Doktoranckie. Opiniowana praca zawiera również kilka elementów, które powalają stwierdzić, że jej Autorka posiadła umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przykładem może tu być przeprowadzony bardzo szeroki i interesujący program badań, wykonane analizy oraz wyciągnięte wnioski. Również zastosowany sprzęt, tradycyjny i nowoczesny, może świadczyć o ww. umiejętności. Dodatkowo zastosowanie nieinwazyjnej metody pomiarów, w celu określenia potencjalnych uszkodzeń kompozytów zawierających kruszywo alternatywne, jest rozwiązaniem oryginalnym. Jednak prawdopodobnie najbardziej istotnym elementem jest umiejętność stawiania trudnych tez i hipotez, a następnie próbowania ich dowiedzenia. Jak wykazano w pracy, nie zawsze można je potwierdzić. Myślę, że właśnie takie sytuacje potwierdzają rzetelność prowadzenia badań naukowych.

Przedstawiona powyżej aktywność naukowa Doktorantki w połączeniu z opracowaną rozprawą pozwalają stwierdzić, że ***wykazała się ona umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.***

10. Ocena oryginalności rozwiązania problemu naukowego

Zastosowanie tworzyw sztucznych, m.in. w postaci płatków PET, w zaprawach i betonach nie jest nowością, natomiast niewątpliwie wyzwaniem jest zastosowanie ww. płatków w kompozytach, przy jednoczesnym wzroście cech wytrzymałościowych kompozytów. Autorka podjęła

się próby udowodnienia, że możliwe jest zwiększenie wytrzymałości na ściskanie kompozytów w przypadku zwiększenia dodatku kruszywa alternatywnego w postaci płatków PET. Udało się jej rozwiązać ten problem poprzez dobór odpowiedniego składu zaprawy, a następnie modyfikację temperatury dojrzewania próbek.

Dodatkowo Doktorantka, podczas realizacji tak obszernego programu badań, napotkała na kilka problemów naukowych, które musiała rozwiązać. Przykładem może być chociażby wybór, ilość, skład i dozowanie aktywatora w zaprawach geopolimerowych oraz wybór i ustalenie sposobu modyfikacji mechanicznej płatków PET.

W mojej ocenie recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

11. Konkluzja

Złożona przez Doktorantkę praca doktorska potwierdza jej wpływ na rozwój naukowy w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Przedstawione w niej rozważania naukowe są istotne dla ww. dyscypliny.

Stwierdzam, że zgodnie z ustawą z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późniejszymi zmianami) oraz Poradnikiem Rady Doskonałości Naukowej w zakresie recenzji w postępowaniach o awans naukowy (2022 r.), spełnione są warunki formalne do nadania Pani mgr. inż. Agnieszce Kocot stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Dlatego też wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Recenzję podpisał
Jacek Domski