

Warszawa, dnia 19. 02. 2024 r.

prof. dr hab. inż. **Robert Kowalski**  
Politechnika Warszawska  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Instytut Inżynierii Budowlanej

WPŁYNEŁO - WBLIW

01-03-2024

22/8/2024

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Jeonghyun Kim**  
pt.  
**„Effect of repeated use of recycled aggregate on some  
properties of concrete”**

## **1. Podstawa sporządzenia recenzji**

### **1.1. Podstawa formalna**

Recenzję sporządzono na podstawie Uchwały nr 381/62RDND06/2021-2024 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Wrocławskiej, z dnia 18. października 2023 r., w której Rada wyznaczyła autora na recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora Panu mgr. inż. Jeonghyun Kim w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport (Zawiadomienie W2/1247/2023 z dnia 20. października 2023 r., podpisane przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny prof. dra hab. inż. Wojciecha Pułę).

Postępowanie zostało wszczęte w dniu 19. lipca 2023 r., w związku z czym jest prowadzone zgodnie z art. 190 ust. 2. Ustawy z dnia 20. lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. u. z 2022 r., poz. 574 z późn. zm.).

### **1.2. Podstawa merytoryczna**

Podstawę merytoryczną recenzji stanowi Raport serii PRE nr 7/2023 Praca doktorska *Effect of repeated use of recycled aggregate on some properties of concrete*, autorstwa mgra inż. Jeonghyun Kim, sporządzony w lipcu 2023 r. Powyższy raport, liczący w sumie 97 stron został przekazany autorowi recenzji w formie wydruku na papierze. Promotorami rozpatrywanej rozprawy są: prof. UPP dr hab. inż. Anna M. Grabiec oraz prof. dr hab. inż. Andrzej Ubysz.

## **2. Ogólna charakterystyka rozprawy, wstępna ocena i uwagi**

Rozprawa przedstawiona do recenzji (Raport wym. w pkt. 1.2) składa się z **części zasadniczej, zajmującej 20 stron**, podzielonej na 7 rozdziałów, przed którą

umieszczono streszczenia w języku angielskim i polskim, po której umieszczono liczący 53 pozycje wykaz piśmiennictwa (6 str.), wykaz osiągnięć Autora rozprawy (3 str.), **kopie pięciu publikacji stanowiących załączniki (A1 – A5) do zasadniczej części rozprawy** oraz opis (1.str.) udziału jej Autora w przygotowaniu publikacji załączonych do raportu.

Omawiane **materiały** (oprócz streszczenia w języku polskim) są przedstawione **w języku angielskim**. Spośród pięciu publikacji umieszczonych w raporcie, dwie są indywidualnymi pracami Autora rozprawy, a trzy – współautorskimi. W dwóch z nich jako współautorzy występują promotorka i promotor rozprawy.

W recenzowanej rozprawie jej **Autor zajmuje się badaniem możliwości zastosowania odpadów betonowych uzyskanych w wyniku wielokrotnego recyklingu** (kruszenia betonu) **do wykonania nowego betonu**. **Temat ten jest bardzo ważny** z punktu widzenia przyszłości budownictwa realizowanego zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju, jest **ciekawym** i doskonale **wpisuje się w obszar dyscypliny** Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

**W pierwszym rozdziale** zasadniczej części raportu (*Introduction*) Autor, na sześciu stronach przedstawia (cztery) cele rozprawy, omawia powody, które skłoniły go do zajęcia się podjętym tematem oraz zakres rozprawy, wyjaśniając na początku, że swą pracę podzielił na dwie zasadnicze części dotyczące:

- wielokrotnego zastosowania (recyklingu) w betonie kruszywa grubego,
- zastosowania w betonie drobnych cząstek powstałych w wyniku wielokrotnego recyklingu odpadów betonowych jako częściowego zamiennika cementu.

**Cele pracy są sformułowane trafnie**, są ciekawe, a ich zrealizowanie zapewni wkład w rozwój dyscypliny naukowej. W pełni **rekompensuje to brak sformułowania** przez autora **tezy** (lub tez) rozprawy.

Niedosyt może natomiast budzić opisany przez autora **zakres rozprawy**. Niefortunnie Autor ograniczył się tu do szczegółowego wymienienia artykułów załączonych do rozprawy oraz podania ich „mini-streszczeń”. Korzystniej byłoby, gdyby Autor własnym językiem opisał merytoryczną zawartość artykułów, ewentualnie w opisie tym, w nawiasach, w stosownych miejscach podając numery załączników (artykułów). Poza tym w podrozdziale zakres rozprawy należało wymienić najistotniejsze zagadnienia związane z tematem rozprawy, z których zbadania Autor świadomie zrezygnował.

**W następnych pięciu rozdziałach** (2. – 6.) zasadniczej części raportu Autor kolejno omawia artykuły (A1 – A5) stanowiące merytoryczną część rozprawy, niezbyt fortunnie „wpadając” w powtórzony pięciokrotnie taki sam schemat opisu, złożony z dwóch podpunktów: podpunkt 1. – streszczenie artykułu; podpunkt 2. – wskazanie, co Autor „osiągnął” w danym artykule. Tytuły omawianych rozdziałów nie są zgodne z tytułami



artykułów, co budzi wątpliwości, jaki w końcu zdaniem Autora rozprawy powinien być tytuł zagadnień omawianych w poszczególnych pracach. Ponadto niefortunne jest przedstawienie opisu, w którym każdy z artykułów jest omawiany (całkowicie) oddzielnie.

**Ostatni (7.) rozdział** zasadniczej części raportu ma nie do końca pasujący do treści tytuł *Uwagi końcowe i wnioski (Final remarks and conclusions)*. Biorąc pod uwagę treść tego rozdziału, raczej powinien on nosić tytuł *Podsumowanie*. W przedstawionym opisie Autor po raz kolejny „wpada” w podawanie informacji w formie streszczenia artykułów. W tekście trudno jest odszukać jednoznacznie sformułowane wnioski. Trudno jest też odnaleźć jasne powiązanie przedstawionych informacji z celami rozprawy podanymi w podrozdziale 1.1 raportu.

Niezbyt fortunne jest też podsumowujące stwierdzenie Autora: *Rozprawa wnosi istotny wkład w ocenę wpływu ... (This dissertation makes a crucial contribution by evaluating the impact ...)*. Jest ono zbyt śmiałe, nic nie wnoszące, niepotrzebne. Dokonanie oceny przedstawionych przez Autora materiałów raczej powinno być pozostawione ich czytelnikom (lub recenzentom).

### 3. Merytoryczna ocena przedstawionych artykułów

Pierwsza z przedstawionych prac (A1) *Influence of quality of recycled aggregates on the mechanical properties of recycled aggregate concretes: An overview* jest samodzielnym dziełem Autora rozprawy, opublikowanym w bardzo renomowanym czasopiśmie *Construction and Building Materials*.

Autor na 12. stronach (ale napisanych bardzo drobnym drukiem) przedstawia obszerny przegląd stanu wiedzy na temat wpływu jakości kruszywa pochodzącego z recyklingu na właściwości betonu, cytując aż 140 pozycji piśmiennictwa. Między innymi wskazuje, iż zastąpienie kruszywa naturalnego pochodzącym z recyklingu, generalnie prowadzi do pogorszenia właściwości użytkowych betonu. Jest to związane z dwufazowym składem kruszywa pochodzącego z recyklingu, w którym występują fragmenty starej zaprawy i starego kruszywa. Obecność części starej zaprawy obniża gęstość i zwiększa nasiąkliwość kruszywa, co powoduje pogorszenie jego jakości. Zawartość starej zaprawy w kruszywach z recyklingu wzrasta wraz z liczbą jego cykli, przez co jakość kruszywa pochodzącego z betonu z kruszywem z recyklingu jest niższa. Jakość kruszywa z recyklingu zależy również od jakości betonu macierzystego. Lepszą jakość kruszywa otrzymuje się z recyklingu betonów wysokiej wytrzymałości. Jakość kruszywa pochodzącego z wielokrotnego recyklingu można poprawić poprzez usuwanie części starej zaprawy. Jest to jednak proces czasochłonny i energochłonny. Dopuszczenie zastosowania niskiej jakości kruszywa pochodzącego z recyklingu może być zatem korzystne z uwagi na oszczędności czasu i energii, a więc kosztów potrzebnych do

przygotowania kruszywa z recyklingu. Obecnie kruszywo takie dzieli się na wysokiej, średniej i niskiej jakości, w zależności od gęstości i nasiąkliwości.

Przedstawiony w omawianej pracy **przegląd piśmiennictwa** na temat kruszywa pochodzącego z recyklingu należy ocenić jako **obszerny, ciekawy i trafnie podsumowujący aktualny stan wiedzy** na temat omawianego zagadnienia.

Druga z przedstawionych prac (A2) *Properties of recycled aggregate concrete designed with equivalent mortar volume mix design* również jest samodzielny dziełem Autora rozprawy, opublikowanym w tym samym bardzo renomowanym czasopiśmie, co pierwsza praca, *Construction and Building Materials*.

Autor na 12. stronach (ale napisanych bardzo drobnym drukiem) przedstawia obszerny przegląd stanu wiedzy na temat wpływu projektowania mieszanki z uwzględnieniem składu kruszywa pochodzącego z recyklingu na właściwości betonu, cytując aż 108 pozycji piśmiennictwa. Między innymi wskazuje, iż stara zaprawa zwiększa całkowitą objętość zaprawy w betonie z kruszywem recyklingu w porównaniu do betonu z kruszywem naturalnym. Może to być przyczyną pogorszenia jakości betonu z kruszywem z recyklingu. Autor m.in. omawia proponowaną w literaturze metodę równoważnej objętości zaprawy (equivalent mortar volume; EMV), w której starą zaprawę traktuje się jako zaprawę, a nie jako kruszywo. Pozwala to na zredukowanie objętości świeżej zaprawy, w wyniku czego objętości zaprawy zarówno w betonie z kruszywem naturalnym, jak i w betonie z kruszywem z recyklingu mogą być do siebie zbliżone. Zastosowanie metody równoważnej objętości zaprawy (EMV) nie zawsze gwarantuje jednak poprawę właściwości betonu.

Przedstawiony w omawianej pracy **przegląd piśmiennictwa** na temat wpływu projektowania mieszanki z uwzględnieniem składu kruszywa pochodzącego z recyklingu na właściwości betonu należy ocenić jako **obszerny i ciekawy**. Zastanawiające może być jednak, iż praca oznaczona jako A2 została opublikowana w 2021 r., a praca oznaczona jako A1 – w 2022 r., a więc o rok później. Wydaje się, iż kolejność przedstawienia omawianych prac powinna być odwrotna, taka jak podał to Autor w zasadniczym tekście rozprawy. Biorąc jednak pod uwagę, iż proces publikowania w rzeczywiście renomowanych czasopiśmie jest m.in. czasochłonny, kolejność zakończenia procesu publikacji przedstawionych prac nie może mieć istotnego znaczenia z punktu widzenia ich oceny merytorycznej.

Informacje podane w **obu omówionych wyżej publikacjach (A1 i A2) z nadmiarem spełniają wymagania przeglądu stanu wiedzy** na temat badanego zagadnienia, jaki powinien się znaleźć **w rozprawie doktorskiej**.

Kolejna z przedstawionych prac (A3) *Influence of mix design on physical, mechanical and durability properties of multi-recycled aggregate concrete* jest wspólnym dziełem Autora rozprawy i jego promotorów (promotorki i promotora). Udział Doktoranta w



przygotowaniu omawianej pracy oceniono na 45%. Opublikowano ją w (komercyjnym) czasopiśmie *Materials* w 2023 r.

W omawianym artykule na 16. stronach (napisanych drobnym drukiem) przedstawiono opis i wyniki własnych badań eksperymentalnych mających na celu określenie pogarszania się właściwości betonu z kruszywem z powtarzającego się recyklingu. Generalnie zjawisko to jest wynikiem stopniowego wzrostu zawartości starej zaprawy w takim betonie. W pracy badano beton z naturalnym kruszywem granitowym poddany jedno, dwu i trzykrotnemu recyklingowi, stosując wskaźnik zastąpienia kruszywa naturalnego pochodzącym z recyklingu wynoszący 50% lub 100%. Między innymi zbadano właściwości mieszanki betonowej, w której część zaprawy (z recyklingu) była już stwardniała oraz właściwości mechaniczne betonu. Wskazano, że w celu zastosowania wielokrotnego recyklingu betonu bez obniżania jego właściwości zasadne jest zastosowanie kombinacji metody ekwiwalentnej objętości zaprawy (EMV) oraz zoptymalizowanego współczynnika zastąpienia kruszywa naturalnego pochodzącym z recyklingu. W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzono znaną już prawidłowość, że jakość betonu z kruszywem z recyklingu stopniowo obniża się w miarę wzrostu jego cykli, stwierdzono, że wyeliminowanie tego zjawiska jest możliwe dzięki połączeniu projektowania mieszanki metodą ekwiwalentnej objętości zaprawy (EMV) i odpowiedniemu dostosowaniu współczynnika jego wymiany oraz że do wykonania betonów poddanych dwu lub trzykrotnemu recyklingowi bardziej korzystne jest wykorzystanie niskiej jakości kruszywa z recyklingu, gdyż w takim przypadku proces pozyskania kruszywa z recyklingu jest mniej energochłonny.

Kolejna z przedstawionych prac (A4) *An experimental study on structural concrete containing recycled aggregates and powder from construction and demolition waste* również jest wspólnym dziełem Autora rozprawy i jego promotorów (promotorki i promotora). Udział Doktoranta w przygotowaniu omawianej pracy oceniono na 70%. Pracę tę również opublikowano w (komercyjnym) czasopiśmie *Materials* w 2022 r.

W omawianym artykule na 20. stronach (napisanych drobnym drukiem) przedstawiono opis i wyniki własnych badań eksperymentalnych dotyczących wykorzystania do wykonania betonu materiałów pochodzących z recyklingu, uzyskanych z odpadów betonowych. We wstępie zwrócono uwagę, że w dostępnej literaturze zdecydowanie dominują opisy badań skoncentrowanych na ponownym wykorzystaniu kruszywa grubego pochodzącego ze starego betonu, a zainteresowanie wykorzystaniem kruszywa drobnego i innych drobnych cząstek pochodzących z recyklingu są mniej popularne. Tymczasem pełna utylizacja starego betonu wymaga ponownego wykorzystania wszystkich frakcji powstających podczas jego kruszenia. W pracy zbadano wpływ współczynników zastąpienia, pochodzących z recyklingu, kruszywa grubego, kruszywa drobnego i proszku (poniżej 0,15 mm), na wybrane właściwości betonu: zawartość powietrza, opad, wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na rozciąganie oraz moduł

sprężystości. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów wskazują, iż urabialność i wytrzymałość betonu zmniejszają się wraz ze wzrostem współczynnika wymiany, niezależnie od rodzaju użytego materiału pochodzącego z recyklingu. Wytrzymałość betonu zawierającego proszek z recyklingu maleje w sposób nieliniowy wraz ze wzrostem współczynnika wymiany.

Kolejna z przedstawionych prac (**A5**) *Closed-loop recycling of C&D waste: Mechanical properties of concrete with the repeatedly recycled C&D powder as partial cement replacement* *Journal of Cleaner Production* jest dziełem współautorskim Autora rozprawy (drugi współautor pracuje w Korei), w którym jego wkład oceniono na 70%. Pracę ta została opublikowana w czasopiśmie *Journal of Cleaner Production* (Elsevier) w 2022 r.

W omawianym artykule na 8. stronach (ale napisanych bardzo drobnym drukiem) przedstawiono opis i wyniki własnych badań eksperymentalnych dotyczących wpływu drobnych cząstek (proszku) pochodzącego z wielokrotnego recyklingu odpadów betonowych na właściwości nowego betonu. Autorzy skoncentrowali się na badaniu zastosowania drobnych cząstek (proszku) powstałych podczas kruszenia betonu z punktu widzenia częściowego zastąpienia cementu w nowym betonie. W przypadku pozytywnych rezultatów przemysłowych zastąpienie takie mogłoby się przyczynić do obniżenia emisji dwutlenku węgla (produkcja cementu jest energochłonna). Zbadano wpływ zastąpienia cementu proszkiem z kruszonego betonu w ilości masy wynoszącej 10%, 20% i 30% masy cementu oraz wpływ liczby cykli recyklingu. Niektóre z uzyskanych wyników, np. że beton zawierający 10% proszku betonowego pochodzącego z trzykrotnego recyklingu wykazuje lepsze właściwości użytkowe niż beton zawierający 20% tego proszku, wydają się być oczywiste. Celem badań było jednak uzyskanie ekonomicznie opłacalnego i przyjaznego środowisku betonu, który spełnia postawione wymagania, a jednocześnie zawiera w sobie drobne cząstki pochodzące z recyklingu, z którymi w aktualnym stanie „nie wiadomo co zrobić”.

**Informacje podane w trzech omówionych wyżej pracach (A3 – A5) eksperymentalnych są cennym źródłem wiedzy** na temat możliwości recyklingu betonu. W szczególności wiedza powinna przyczynić się do, być może, doprowadzenia w przyszłości do sytuacji, w której beton przeznaczony do rozbiórki, w całości będzie mógł być ponownie wykorzystany. Miałoby to bardzo korzystny wpływ na zachowanie środowiska naturalnego. **Wnioski sformułowane w omawianych pracach przy znacznym współudziale Doktoranta** nie są jeszcze w pełni kompletne i nie mogły być, ponieważ w aktualnym stanie wiedzy nauka jest dopiero „na początku drogi” zmierzającej do całkowitego (pełnego) recyklingu betonu. Wnioski te stanowią jednak **cenne przyczynki naukowe** i wnoszą istotny wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Niedosyt recenzenta budzi jednak fakt, że wnioski te w rozprawie zostały podane oddzielnie, tzn. w zasadzie wyłącznie w trzech artykułach



załączonych do tekstu zasadniczego rozprawy, a w 7. rozdziale tego tekstu Doktorant nie wypunktował najistotniejszych wniosków merytorycznych sformułowanych na podstawie przeprowadzonych badań (o czym była już mowa w 2. rozdziale tej recenzji).

## 4. Uwagi do rozprawy i jej ocena merytoryczna

### 4.1 Uwagi do rozprawy

Jak już wspomniano wyżej, omawiana rozprawa doktorska składa się z krótkiego tekstu zasadniczego oraz pięciu załączonych do niego obszernych artykułów naukowych. Powoduje to, iż recenzentowi trudno było sformułować szczegółowe, trafne uwagi do tekstu, informacji lub wniosków przedstawionych w tych artykułach. Prawdopodobnie uczyli to już wcześniej inni recenzenci, a Autor (lub Autorzy) artykułów uwzględnił te uwagi w ostatecznych wersjach przedstawionych prac. Recenzent mógł oczywiście wskazać obszary niezbadane przez Doktoranta. Nie wniosło by to jednak zbyt wiele do oceny, ponieważ każda praca musi mieć przecież swój ograniczony zakres.

**Zasadniczą wadą rozprawy jest zatem jej forma.** Między innymi powoduje ona, że w materiałach przedstawionych do oceny merytorycznej (w artykułach) występuje pięć wprowadzeń oraz pięć zestawów wniosków. Przedstawianie rozpraw doktorskich w formie zestawu opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych jest jednak wskazane w Ustawie *Prawo o szkolnictwie wyższym* (Art. 187. Ust. 3) i coraz bardziej powszechne. Recenzent nie zamierza tu podejmować w tej sprawie polemiki z Ustawodawcą

Należy jednak zauważyć, iż **Doktorant**, być może opierając się na wskazanym wyżej przepisie Ustawy, **nie poświęcił wystarczająco dużo uwagi przygotowaniu zasadniczego tekstu rozprawy**, mającego stanowić wprowadzenie do przedstawionych publikacji lub nie w pełni dobrze poradził sobie z przygotowaniem tego tekstu.

W omawianym tekście Autor w zasadzie **ogranicza się do kolejnego streszczenia przedstawionych artykułów**. W podrozdziale 1.3 (*Zakres rozprawy*) najpierw prezentuje je zgodnie z zasadami opisu bibliograficznego pozycji piśmiennictwa (co powinno znaleźć miejsce w spisie treści rozprawy), po czym przedstawia ich bardzo krótkie streszczenia. Następnie w kolejnych pięciu rozdziałach (merytorycznych), w ich pierwszych podrozdziałach, schematycznie podaje, tym razem rozszerzone streszczenia artykułów. W podsumowaniu zasadniczego tekstu rozprawy (rozdział 7.) również „wyczuwa się tendencję Autora” do kolejnego streszczenia poszczególnych artykułów.

W rozdziale, w którym omawiany jest zakres rozprawy (1.3 *Scope of dissertation*) przede wszystkim należało jednoznacznie opisać to, co rzeczywiście udało się Autorowi zbadać w ramach przygotowania przedstawionych prac, ale również jednoznacznie opisać to, czego nie badano, z czego badania świadomie zrezygnowano.

Następnie zamiast pięciu rozdziałów merytorycznych należało, raczej przedstawić dwa:

- pierwszy dotyczący przeglądu aktualnego stanu wiedzy, oparty na kompleksowym podaniu kluczowych informacji zawartych w artykułach A1 i A2,
- drugi, w którym przedstawiono by opisy i wyniki analiz własnych badań eksperymentalnych.

W rozdziale podsumowującym należało kompleksowo podać spójne wnioski opracowane na podstawie kluczowych wniosków sformułowanych w pięciu zestawach wniosków podanych w artykułach przedstawionych do oceny. W zasadniczym tekście rozprawy brakuje przedstawienia kluczowych, spójnych wniosków. Ponadto wnioski takie powinny jednoznacznie odnosić się do celów rozprawy sformułowanych na początku jej zasadniczego tekstu, a tego również brakuje.

#### **4.2 Ocena merytoryczna rozprawy**

Niezależnie od przedstawionej wyżej krytyki zasadniczego tekstu rozprawy, jej **ocena merytoryczna jest w pełni pozytywna.**

Podjęty przez Doktoranta temat mający na celu zbadanie możliwości zastosowania odpadów betonowych uzyskanych w wyniku wielokrotnego recydingu (kruszenia betonu) do wykonania nowego betonu, jest bardzo ważny z punktu widzenia przyszłości budownictwa realizowanego zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju, jest ciekawy i doskonale wpisuje się w obszar dyscypliny naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

Informacje podane w pierwszych dwóch artykułach przedstawionych przez Doktoranta (A1 i A2), będących Jego samodzielnymi dziełami, z nadmiarem spełniają wymagania przeglądu aktualnego stanu wiedzy na temat badanego zagadnienia, jaki powinien się znaleźć w rozprawie doktorskiej.

Na podstawie tych informacji Doktorant zaplanował i przeprowadził ciekawe, obszerne badania eksperymentalne, a następnie przeanalizował uzyskane wyniki i sformułował wnioski stanowiące cenne przyczynki naukowe, które zostały przedstawione w trzech kolejnych publikacjach współautorskich (A3 – A5), w których Doktorant jest kluczowym, wiodącym autorem.

Szczególnie cennymi osiągnięciami Doktoranta są:

- ustalenie, że jest możliwe częściowe zastąpienie cementu w betonie, drobnymi cząstkami (proszkiem frakcji poniżej 0,15 mm) wytworzonymi w wyniku kruszenia betonu pochodzącego z rozbiórki, bez istotnego pogorszenia jakości nowego betonu; prace takie, po „uprzemysłowieniu” uzyskanych wyników, docelowo mogą w przyszłości doprowadzić do umożliwienia pełnego (całkowitego) recydingu betonu;



- miałoby to kluczowe znaczenie z punktu widzenia budowania zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju,
- wskazanie, iż w celu zastosowania wielokrotnego recyklingu betonu bez obniżania jego szeroko rozumianej jakości zasadne jest zastosowanie do projektowania składu mieszanki betonu z kruszywem z recyklingu, kombinacji metody ekwiwalentnej objętości zaprawy (EMV) oraz zoptymalizowanego współczynnika zastąpienia kruszywa naturalnego pochodzącym z recyklingu; prace te w przyszłości powinny przyczynić się do umożliwienia wielokrotnego recyklingu betonu; to również miałoby kluczowe znaczenie z punktu widzenia budowania zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju,
  - wskazanie, iż najkorzystniejsze może być wykorzystanie kruszywa pochodzącego z recyklingu, charakteryzującego się niezbyt wysoką jakością, a nie dążenie do uzyskania takiego kruszywa jak najwyższej jakości, ponieważ proces pozyskania z recyklingu kruszywa niezbyt wysokiej jakości jest mniej energochłonny.

## 5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując przeprowadzoną ocenę rozprawy doktorskiej mgra inż. Jeonghyun Kim, pt. *Effect of repeated use of recycled aggregate on some properties of concrete (Wpływ wielokrotnego wykorzystania kruszywa pochodzącego z recyklingu na niektóre właściwości betonu)*, stwierdzam, że Doktorant określił oryginalny, ciekawy i ważny problem naukowy, który zamierzał rozwiązać oraz przedstawił trafnie sformułowane cele rozprawy. W pięciu publikacjach przedstawionych do oceny rozwiązał określony problem i zrealizował postawione cele. Materiały przedstawione do oceny wnoszą istotny wkład w jak dotychczas mało zbadane zagadnienie zapewnienia możliwości zastosowania odpadów betonowych uzyskanych w wyniku wielokrotnego recyklingu (kruszenia betonu) do wykonania nowego betonu, co doskonale wpisuje się dążenie do zapewnienia w przyszłości budowania zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy badawczej i naukowej. Wnioski wynikające z materiałów (artykułów) przedstawionych do oceny stanowią oryginalny wkład naukowy Doktoranta w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

**Rozprawa doktorska mgra inż. Jeonghyun Kim spełnia wymagania Ustawy z dnia 20. lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. u. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.) i w związku z tym wnioskuję o dopuszczenie do publicznej obrony tej rozprawy.**

19.07.2024r.  
