

Zabrze, 23/08/2023r.

Prof. dr hab. inż. Jarosław Zuwała
Z-ca Dyrektora Instytutu ds. Badań i Rozwoju

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Nikoliny PORANEK
pt. *„Ocena możliwości zagospodarowania odpadów wtórnych z ITPOK
w betonie o zwiększonej szczelności”*

Współpromotorzy rozprawy: prof. dr hab. inż. Krzysztof Pikoń
prof. dr hab. inż. Beata Łązniewska – Piekarczyk
(Politechnika Śląska w Gliwicach).

1. Wprowadzenie

Podstawą formalną opracowania recenzji jest umowa o dzieło UMC/2093/2023 zawarta pomiędzy Politechniką Śląską w Gliwicach a autorem niniejszej recenzji. Recenzja przygotowana jest w oparciu o uchwałę Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwo i Energetyka z dnia 22.06.2023 r. oraz Ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023 poz. 742) z dnia 20 lipca 2018 r. Recenzja opracowana została na podstawie otrzymanej w dniu 7.07.2023 r. rozprawy doktorskiej, stanowiącej opracowanie zwarte.

2. Sylwetka Doktorantki

Autorka recenzowanej rozprawy doktorskiej, Pani Nikolina Poranek uzyskała w roku 2020 tytuł mgr inż. na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Według posiadanych informacji, Doktorantka nigdy wcześniej nie ubiegała się o nadanie stopnia doktora w żadnej jednostce organizacyjnej.

Poniżej ujęto Jej przebieg pracy zawodowej:

- Politechnika Śląska w Gliwicach, Kierownik „Diamentowego Grantu”, Doktorantka w Szkole Doktorskiej, 10.2019 – nadal;
- Politechnika Śląska w Gliwicach, Opiekun PBL, 05.2020 – 10.2021;
- SUEZ Polska Sp. z o.o. / PreZero Warszawa Sp. z o.o., Analityk Biznesowy/Młodszy Specjalista ds. Marketingu Strategicznego, 09.2017 – 09.2021;
- Rudolph & Hellmann Automotive UK, Picker, 08 – 09.2017;
- Starol Sp. z o.o., Praktykantka, 07 – 08.2017.

3. Ogólna ocena rozprawy wraz z uwagami krytycznymi

3.1 Zakres rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska została zrealizowana we Wspólnej Szkole Doktorskiej prowadzonej w Politechnice Śląskiej w Gliwicach pod opieką dwojga promotorów reprezentujących Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki (dyscyplinę inżynieria środowiska, górnictwo i energetykę) oraz Wydział Budownictwa (dyscyplinę Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport). W konsekwencji ma ona charakter interdyscyplinarny.

Praca poświęcona jest ocenie możliwości zastosowania powstających w procesie termicznego przekształcania odpadów komunalnych ubocznych produktów spalania (tzw. UPS: popiół lotny, popiół denny i żużel) jako dodatków w procesie produkcji betonu o zwiększonej szczelności. Taki zabieg miałby na celu trwałe zagospodarowanie tych ubocznych produktów spalania, z których dwa pierwsze kwalifikowane są jako odpady niebezpieczne.

Rozważania zawarte w rozprawie opierają się w przeważającej części na szerokim zakresie badań eksperymentalnych związanych z oceną wpływu zastosowanych w charakterze dodatków UPS pochodzących z wybranego zakładu TPOK na parametry wytworzonego z ich udziałem betonu. Zakres uzupełniają badania o charakterze analitycznym, w trakcie których analizowano z punktu widzenia analizy cyklu życia wpływ dodatków UPS na środowisko w dwóch kategoriach: wyczerpywanie zasobów abiotycznych oraz zmiany klimatu (śląd węglowy). Analizy prowadzono w trzech wariantach, gdzie w charakterze dodatków stosowano: łącznie popiół lotny i denny, żużel, mieszankę popiołu i żużla oraz jako wariant bazowy przyjęto stan odniesienia w którym badany beton wytwarzano bez udziału UPS.

W przeprowadzonej dyskusji otrzymanych wyników nacisk położony został na porównanie parametrów wytworzonego wg zmiennych receptur betonu oraz wskaźników oceny środowiskowej.

Tytuł pracy jest zwięzły i informuje o jej tematyce, która mieści się w problematyce obu dyscyplin, w których była prowadzona. Nieco mylące jest natomiast zastosowanie w tytule określenia „...*odpadów wtórnych z ITPOK...*” zamiast po prostu „...*ubocznych produktów spalania z ITPOK...*”. Odpady wtórne mogą być identyfikowane z paliwami wtórnymi, a te z kolei z paliwami alternatywnymi wytwarzanymi na bazie odpadów komunalnych, co w konsekwencji może wprowadzić w błąd odbiorcę pracy.

Uzasadnienie wyboru tematu znajduje się w rozdziale #1: *Wstęp*. Rozprawę Doktorantka zawarła na 175 stronach tekstu zasadniczego. Praca jest bogata w liczne formy graficzne (tabele, rysunki, fotografie), zawiera spis rysunków, tabel, oraz spis wykorzystywanych skrótów błędnie określony jako wykaz najważniejszych oznaczeń. Manuskrypt podzielono na siedem numerowanych rozdziałów z czego zasadniczą część pracy zawarto w rozdziałach 1÷5, rozdział 6 to *Wnioski*, ostatni rozdział 7 stanowi *Literatura*. Jest ona dość bogata, obejmuje 248 pozycji, przy czym cytowane źródła są aktualne. Przeważający udział cytowanych prac pochodzi z ostatnich lat, ponadto duża część raportów i dokumentów opublikowana została w roku wydania pracy doktorskiej. W wykazie literatury Doktorantka umieściła ponadto liczne normy techniczne oraz dziesięć pozycji, których jest współautorką i na które powołała się w pracy. Pozycje bibliograficzne podano w kolejności ich cytowania a odwołania do nich mają uzasadnienie wynikające z treści rozprawy. Sposób oznaczenia cytowań źródeł literatury jest zgodny ze stylistyką stosowaną w naukowej literaturze technicznej.

Intencją Doktorantki było zapewne zasygnalizowanie na samym początku pracy jej celu i zakresu (odpowiednio w nienumerowanych rozdziałach *Cel* oraz *Zakres*). Jako cel pracy przyjęto *opracowanie technologii wytwarzania materiału budowlanego zgodnie z zasadami GOZ, polegającego (pis. oryg.) na wykorzystaniu ubocznych produktów spalania z instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych w mieszance betonowej*. Cel ten ma charakter ściśle użytkowy i wpisuje się w kierunek wykorzystania ubocznych produktów spalania zgodnie z ideą gospodarki o obiegu zamkniętym. Postawione w pracy hipotezy badawcze są następujące: (1) zastosowanie UPS z ITPOK w mieszance betonowej przyczynia się do zmniejszenia wymywalności metali ciężkich o ponad 80%; (2) wykorzystanie

popiołu lotnego jako składnika innego niż klinkier w betonie lub żuźla jako zamiennika kruszywa lekkiego (naturalnego) przyczyni się do obniżenia śladu węglowego w porównaniu do wytworzenia konwencjonalnej mieszanki betonowej; (3) odpad 19 01 12 (żużel) jako kruszywo lekkie nasączone wodą zapewnia pielęgnację wewnętrzną sprzyjającą uszczelnieniu betonu o ograniczeniu skurczu; (4) jest możliwe stworzenie betonu z wykorzystaniem UPS z ITPOK w taki sposób, aby prowadziło to do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych oraz zużycia surowców abiotycznych w porównaniu z betonem konwencjonalnym i jest to zgodne z koncepcją GOZ. Na tym etapie zauważyć można, że układ rozprawy odbiega nieco od tradycyjnego układu prac mających cechy rozpraw doktorskich, gdzie zwyczajowo przedstawienie analizy stanu wiedzy w temacie rozprawy ma miejsce **przed** określeniem celu, ewentualnie też i zakresu pracy. W takim (klasycznym) układzie widoczne jest w sposób jednoznaczny, z czego wynika przyjęty cel pracy oraz zakres prac planowanych do jego realizacji. W bieżącym układzie pracy, analizując postawione hipotezy trudno odpowiedzieć na pytanie, dlaczego akurat brzmią one w taki właśnie sposób – np. dlaczego Autorka przyjęła akurat poziom 80% jako parametr informujący zmniejszeniu wymywalności w hipotezie (1) czy dlaczego właśnie nasączenie wodą ma przyczynić się do zapewnienia pielęgnacji wewnętrznej (hipoteza (2))?

W zakresie pracy zaplanowano następujące zadania badawcze: (1) analizę fizycznych oraz chemicznych właściwości UPS z ITPOK ze szczególnym uwzględnieniem stopnia wymywalności potencjalnych zanieczyszczeń, (2) wytworzenie zaczynów i zapraw cementowych z udziałem UPS z ITPOK oraz ich analiza pod kątem właściwości technologicznych, (3) wytworzenie betonów z udziałem UPS z ITPOK oraz analiza cech mechanicznych i trwałościowych, (4) diagnostyka wytworzonego betonu na podstawie badania struktury, (5) analiza środowiskowa wytworzonych betonów, które są efektem opracowanej technologii z udziałem UPS z ITPOK.

W rozdziale 1 *Wstęp*, stanowiącym objętościowo ok 30% zawartości pracy, Autorka omawia problematykę funkcjonowania sektora gospodarki odpadami, zagadnienia gospodarki o zamkniętym obiegu (GOZ), wpływ sektora przemysłu cementu oraz budownictwa na środowisko, charakteryzuje także poszczególne składniki stosowane w procesie produkcyjnym betonu.

Rozdział 2 *Metodyka badawcza* podzielony jest na opisy właściwych kolejnym pięciu etapom zaplanowanych badań: 1) badaniom UPS z ITPOK pod kątem fizykochemicznym dla oceny możliwości ich zastosowania w mieszankach betonowych, łącznie z testami wymywalności oraz badaniami fitotoksyczności; 2) wykonaniu zapraw cementowych dla sprawdzenia cech jakościowych oraz trwałościowych zapraw cementowych z wykorzystaniem UPS z ITPOK; 3) wykonaniu mieszanek betonowych oraz następnie prób batonowych z zawartością domieszek dla określenia mieszanki pozwalającej na trwałą immobilizację UPS, 4) badaniom struktury wytworzonych materiałów oraz popiołu lotnego i żuźla w celu określenia stopnia wbudowania dodatków w strukturę betonu, 5) analizie środowiskowej cyklu życia wybranego składu betonu oraz badaniom fitotoksyczności.

Rozdział #3 zawiera wyniki badań w zakresie opisanym w poprzednim paragrafie. Autorka omówiła wyniki analizy fizykochemicznej UPS z ITPOK, analizę właściwości technologicznych zaczynów i zapraw cementowych oraz analizę cech mechanicznych i trwałościowych wytworzonych betonów o wariantowym składzie. Przeprowadziła także diagnostykę wytworzonych mieszanek oraz sprawdziła wpływ ubocznych produktów spalania na strukturę wewnętrzną betonu. Tę część wyników można merytorycznie przypisać do dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport podczas gdy w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka mieszczą się badania służące osiągnięciu wyników dla oceny wpływu na środowisko w kategoriach wyczerpywania zasobów abiotycznych oraz zmiany klimatu (ślad węglowy). Uzyskane wyniki badań eksperymentalnych dowiodły, iż możliwe jest wykorzystanie w charakterze dodatków do betonu ubocznych produktów spalania pochodzących z ITPOK (na przykładzie UPS z instalacji TPOK w Poznaniu). Dla badanych wariantowych składów mieszanek wykazano zmniejszenie wymywalności metali ciężkich. Wykazano, iż kluczowym z punktu widzenia przydatności UPS jako mieszanki do betonu zabiegiem jest namaczanie w wodzie, przed wykorzystaniem w

betonie. W przypadku, kiedy mieszanki były przygotowywane bez wcześniejszego namaczania, właściwości takie jak urabialność czy rozplływ były niekorzystne.

W rozdziale 4 pt. *UPS z ITPK w GOZ* wskazano na obszary zgodności badanej koncepcji zastosowania UPS w charakterze dodatku do betonów z ideą GOZ. Rozdział ten jest stosunkowo niewielkich rozmiarów (2 strony), moim zdaniem można było go połączyć ze *Wstępem*, jako że w bieżącym kształcie nie wnosi informacji, które wynikają wprost z przeprowadzonych badań.

Rozdział 5 *Przygotowanie mieszanek budowlanych* zawiera autorską recepturę, która została opracowana na bazie uzyskanych wyników badań. Dla opracowanych trzech mieszanek betonowych przedstawiono wytyczne dla ich przygotowania oraz zawartości (udziały masowe) poszczególnych składników. Ta część pracy jest bardzo cenna i dowodzi umiejętności wykorzystania wyników badań dla celów stricte utylitarnych.

Analiza środowiskowa i badanie fitotoksyczności to zakres rozdziału 6. Analizę cyklu życia Doktorantka przeprowadziła w dwóch kategoriach: potencjału uszczuplenia zasobów abiotycznych a także potencjału globalnego ocieplenia (śladu węglowego), rozważając cztery scenariusze (beton bazowy oraz beton przygotowany wg trzech nowatorskich receptur). Obliczenia wykonano dla jednostki funkcjonalnej 1 kg betonu. Wykazano korzystny wpływ środowiskowy dodatku UPC do betonu, wyrażający się zmniejszeniem wartości wskaźników wyrażonych w jednostkach odpowiednio CO_{2eq} oraz $kg Sb_{eq}$ i MJ. W przeprowadzonych badaniach fitotoksyczności wykazały największą fitotoksyczność dla wyciągów wodnych wykonanych bezpośrednio z UPS (bez ich wbudowania w strukturę betonów).

Zasadniczą część pracy kończy rozdział 7 *Wnioski*, w którym Doktorantka odnosi się do postawionych na początku pracy hipotez. Na podstawie uzyskanych wyników analiz wariantowych potwierdza prawdziwość wszystkich postawionych hipotez.

Podsumowując powyższe, stwierdzam że sposób w jaki Doktorantka sformułowała w oparciu cel i zakres pracy był właściwy i doprowadził w konsekwencji do zaplanowania analiz, które zostały przeprowadzone i opisane w pracy. Zakres pracy zaplanowany dla realizacji postawionego celu uznaję za wystarczający w zupełności.

3.2 Ocena prawidłowości wyboru tematu

Termiczne przekształcanie odpadów (TPO) komunalnych będzie pomimo konieczności zapewniania coraz większych poziomów recyklingu oraz wdrażania procesów przemysłowych pozostających w spójności z ideą GOZ pozostawać istotnym elementem sektora gospodarki odpadami oraz najbardziej celową metodą utylizacji niektórych rodzajów i grup odpadów. Z procesami TPO procesem wiąże się powstawanie stałych ubocznych produktów spalania, które także muszą znaleźć swoje miejsce w gospodarce. Ponieważ ich składowanie nie wpisuje się w ideę GOZ, należy doskonalić i rozwijać procesy prowadzące do ich wykorzystania jako surowca w istniejących procesach przemysłowych.

W tym kierunku podążają prace Doktorantki, zmierzające do zastępowania w procesach produkcji cementu a potem betonu części surowców pochodzenia kopalnego właśnie UPS-ami pochodzącymi w instalacji TPO.

Biorąc pod uwagę powyższe, uważam, że temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Nikoliny Poranek został wybrany prawidłowo a całość podjętej pracy choć uwarunkowana w dużej części zamierzeniami o charakterze stricte utylitarnym zawiera elementy nowości naukowej. Dodatkowo, podkreślenia wymaga fakt, iż realizowane przez Doktorantkę badania uzyskały wsparcie finansowe w ramach Programu „*Diaamentowy Grant*”, sfinansowanemu przez Ministerstwo Edukacji i Nauki, co także potwierdza rangę i istotność analizowanej oraz rozwijanej przez Nią w pracy tematyki.

4. Analiza treści rozprawy wraz z uwagami krytycznymi

W poniższym rozdziale recenzji skupię uwagę na zagadnieniach naukowych samodzielnie rozwiązanych przez Doktorantkę oraz dyskusji prawidłowości rozważań, uzyskanych wyników i wniosków oraz na uwagach i wątpliwościach, które nasunęły mi się przy pisaniu recenzji. Na końcu zamieszczonej analizy odniosę się do oryginalności i wskażę na główne walory rozprawy.

4.1 Zagadnienia naukowe i utylitarne rozwiązane samodzielnie przez Doktorantkę

Po przeprowadzeniu analizy treści rozprawy stwierdzam, że postawiony przez Doktorantkę cel pracy został zrealizowany.

Do **najważniejszych zagadnień naukowych** rozwiązanych przez Nią samodzielnie zaliczam:

- przeprowadzenie analiz właściwości technologicznych zaczynów i zapraw cementowych a także cech mechanicznych i trwałościowych betonów wraz z uzyskaniem ważnych wyników,
- przeprowadzenie diagnostyki wytworzonych betonów z wykorzystaniem zaawansowanych technik badawczych,
- przeprowadzenie analizy środowiskowej oraz analizy fitotoksyczności dla wyciągów wodnych pozyskanych z wariantowych materiałów i surowców;

Za **najistotniejsze elementy pracy w aspekcie praktycznym** uważam natomiast:

- wykazanie, iż możliwe jest wykorzystanie żużla pochodzącego z ITPO w charakterze surowca dla mieszanek betonowych oraz zastąpienie żużlem kruszywa lekkiego z recyklingu,
- opracowanie receptur mieszanek budowlanych dla kompozycji: beton i żużel, beton i popiół lotny, beton + popiół lotny i żużel.

4.2 Prawidłowość rozważań, uzyskanych wyników i wniosków oraz uwagi krytyczne

Treść rozprawy dowodzi, że Doktorantka dobrze znajduje się w przedmiotowej problematyce. Nie stwierdzam w tym zakresie uchybień i oceniam Jej znajomość przedmiotu zagadnienia - w tym przygotowanie zawodowe i naukowe – pozytywnie. Przyczynę do podjęcia pogłębionej dyskusji naukowej stanowi natomiast kilka zagadnień, które przedstawiam poniżej, z prośbą o odniesienie się do nich w trakcie obrony pracy:

1. Pytanie #1: w streszczeniu pracy (str. 7) mowa jest o celu zasadniczym prowadzonych prac badawczych, jakim jest obniżenie wskaźnika emisji CO₂ na jednostkę masy wyprodukowanego betonu (a wcześniej cementu). Jak kształtuje się obecnie emisja CO₂ w procesie produkcji cementu w podziale na poszczególne procesy jednostkowe i czy działania zmierzające do wykorzystania UPS w charakterze surowców będą miały istotny wpływ w porównaniu do innych etapów procesu wytwarzania cementu? Jest to istotne z punktu widzenia potencjalnego zainteresowania opracowanym rozwiązaniem i może przybliżyć odpowiedź na pytanie jaka grupa docelowa będzie zainteresowana wdrożeniem zaproponowanego rozwiązania? Czy będzie nią sektor produkcji cementu? O jakiej skali zmniejszenia emisji CO₂ (np. w ujęciu %) można mówić w przypadku referencyjnej cementowni?
2. Pytanie #2: również w streszczeniu pracy (str. 7), mowa jest iż: „...*efektem pracy jest technologia wykorzystująca UPS z ITPOK...*”. O jakim stopniu TRL (dojrzałości technologicznej) możemy tutaj mówić?
3. Pytanie #4: z czego wynika przyjęty w hipotezie badawczej nr 1 (str. 15) oczekiwany poziom zmniejszenia poziomu wymywalności metali ciężkich o 80%?
4. Pytanie #5: w jakim procesie jednostkowym nastąpi zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych w odniesieniu do procesu TPO (str. 25 trzecie tiret)?
5. Pytanie #6: Jak należy rozumieć zdanie „*Jedynie 8,6 mld Mg z prawie 100 Mg wydobytych surowców naturalnych zostało zawrócone do obiegu*”?

6. Pytanie #7: Uzyskane wartości śladu węglowego dla scenariuszy 1-4 różnią się od siebie bardzo nieznacznie (praktycznie różnica pomiędzy wartościami liczbowymi występuje dopiero na piątym miejscu po przecinku). Nie kwestionując korzystnego wpływu UPS na wartość wskaźnika, można postawić pytanie jak można tę różnicę powiększyć aby była ona zauważalna i w konsekwencji osiągnąć bardziej znaczące korzyści środowiskowe określane w pełnym cyklu życia?
7. Uwaga #1: pierwsze zdanie drugiego akapitu na stronie 20 (zaczynające się od „*Wówczas następuje...*” jest niezrozumiałe. Proszę o wyjaśnienie kontekstu.
8. Uwaga #2: odniesienie do rys. 1.9 na str. 24 jest niewłaściwe (powinno być rys. 1.5).

Podkreślić należy, że wskazane powyżej uwagi i komentarze nie umniejszają wartości naukowej i oraz aspektów użytkowych pracy. Zaplanowany zakres pracy został zrealizowany a postawiony cel został osiągnięty.

Praca jest stosunkowo dobrze zredagowana, napisano ją dobrym językiem. Uwagi redakcyjne oraz stylistyczne nie są częste, aczkolwiek proponuję unikać w piśmiennictwie naukowym określeń w rodzaju: „*godzina czasu*”, „*zbyt wysoka*” (str. 35), „*kierowane w budownictwo*” (str. 36), „*popioły [...] bazujące na odpadach komunalnych*” (str. 37), „*do morfologii żuźla zaliczają się metale żelazne i nieżelazne*” (str. 45), „*pył krzemionkowy posiada normę*” (str. 48).

4.3 Oryginalność i główne walory rozprawy

Doktorantka planując i realizując zakres badań eksperymentalnych i analitycznych uzyskała materiał służący ocenie możliwości wykorzystania ubocznych produktów spalania w charakterze substytutów substratów do produkcji cementu a następnie mieszanek betonowych.

Zakres zrealizowanych prac stanowi Jej oryginalny dorobek a wyniki uzyskane w trakcie realizacji pracy dostarczają oprócz zasygnalizowania elementów naukowych ważnych wniosków użytkowych, są one przez to cenne z praktycznego punktu widzenia.

Uzyskany w trakcie realizacji pracy materiał jest interesujący i wart dalszej popularyzacji poprzez np. prezentowanie uzyskanych wyników jako publikacji w innych czasopismach naukowych a także poprzez referaty wygłaszane na konferencjach z obszaru gospodarki odpadami, materiałów dla budownictwa czy szeroko pojętej inżynierii środowiska.

5. Wnioski końcowe

Na podstawie przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej, biorąc pod uwagę przedstawione wcześniej uwagi i spostrzeżenia **stwierdzam, że przedstawiona przez Panią mgr inż. Nikolinę Poranek rozprawa pt. „Ocena możliwości zagospodarowania odpadów wtórnych z ITPOK w betonie o zwiększonej szczelności” spełnia w całości określone w Art. 13.1 przywołanej w pkt. 1 Ustawy warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim.**

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinach naukowych: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka a także inżynieria lądowa, geodezja i transport; dowodzi także Jej umiejętności samodzielnego zaplanowania i przeprowadzenia szerokiego zakresu badań eksperymentalnych.

Praca posiada bardzo wartościowe aspekty użytkowe, osiągnięte wyniki mogą być przydatne oraz dalej rozwijane nie tylko w przedsiębiorstwie, które zdefiniowało problem badawczych (ITPOK Poznań) ale także w innych przedsiębiorstwach sektora gospodarki odpadami w Polsce, w tym ITPOK.

Wobec powyższych faktów wnioskuję do Wysokiej Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka o dopuszczenie Pani mgr inż. Nikoliny Poranek do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.

Podpisał Jarosław Zuwała