

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Siwiec
Zakład Wodociągów i Kanalizacji
Katedra Inżynierii Środowiska i Geodezji
Wydział Inżynierii Produkcji
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Akademicka 13
20-950 Lublin

Warszawa 2023-08-22

ADMINISTRACJA
Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki
Wpłynęło dnia 29.08.2023r.
Nr 874 szt.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Guzdk
pt. „Badania złóż wielowarstwowych stosowanych
w filtrach do uzdatniania wody”

Podstawa opracowania

Zgodnie z Uchwałą Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie o numerze nr 3/RN/5/2023 z dnia 21.06.2023 zostało przekazane mi zlecenie Pana dra hab. inż. Stanisława M. Rybickiego prof. PK, Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Krakowskiej na wykonanie recenzji w/w rozprawy doktorskiej. Zlecenie z dnia 27.06.2023 r. opatrzone zostało numerem ŚO.529-728/2023/SMR.

Ogólne omówienie rozprawy

Tematyka podjęta w rozprawie doktorskiej jest istotnej wagi, ze względu na aspekt zarówno naukowy jak i praktyczny. Związana jest z klasycznymi procesami filtracji, które stanowią jedną z głównych części ciągu technologicznego w stacjach uzdatniania wody. Zarówno stacje uzdatniające wodę ze źródeł powierzchniowych jak i podziemnych korzystają z filtrów pospiesznych przy usuwaniu zawiesin, koagulacji powierzchniowej, odżelazianiu i odmanganianiu wody, jak i w doczyszczaniu wody na filtrach z węglem aktywnym.

Olbrzymia różnorodność rozwiązań filtrów pod względem konstrukcji, wypełnienia złożem, prędkości przepływu wody oraz wprowadzania przed filtrem innych składników, jak koagulanty, powietrze, nadmanganian potasu i inne powoduje, że przebieg cyklu filtracyjnego w poszczególnych rozwiązaniach nie jest taki sam. Jednak każdy filtr, a zwłaszcza filtr

pospieszny podczas przepływu wody przez złożę kolmatuje się, co wymusza konieczność jego regeneracji i przywrócenia warunków początkowych, lub, jeśli nie jest to możliwe, jak najbliższych warunkom początkowym. Regeneracja filtrów pospiesznych polega w głównej mierze na skierowaniu strumienia wody użytej do płukania w kierunku przeciwnym do kierunku filtracji, czyli w klasycznych rozwiązaniach z dołu do góry. Jest to proces, który rutynowo realizowany jest w stacjach wodociągowych, jednak przez znikomą znajomość istoty procesu oraz uwarunkowań technologicznych i hydraulicznych nie zawsze uzyskiwane są prawidłowe efekty oczyszczenia złożów z osadów. Oczywiście dodatkowo wprowadzane, uprzednie przedmuchiwanie powietrzem złoża znacząco wspomaga efektywność jego regeneracji.

Kluczowymi warunkami efektywnego oczyszczania złoża ze zdeponowanych podczas filtrowania wody osadów jest określenie dwu podstawowych parametrów, to jest minimalnej prędkości fluidyzacji oraz ekspansji złoża w funkcji prędkości płukania. Parametry te zależne są od rodzaju materiału wypełniającego filtr, czyli materiału złoża, a ściślej jego gęstości, wielkości ziaren, sferyczności ziaren i związanej z nią porowatości międzyziarnowej (jamistości), a także temperatury wody, która wpływa na jej gęstość i lepkość. Dodatkowo, w przypadku stosowania złożów dwu- lub trójwarstwowych relacje parametrów ograniczających wzajemne mieszanie sąsiadujących warstw.

Analizie warunków hydraulicznych prawidłowego płukania sześciu typów złożów o wybranych frakcjach została poświęcona rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Guzdkę. Doktorant badał keramzyt NC, keramzyt HC, szkło filtracyjne, garnet, piasek i hydroantracyt. Autor rozszerzył badania o wpływ temperatury wody płuczającej oraz przeanalizował warunki mieszania się sąsiednich warstw złoża.

Merytoryczną część pracy stanowi 8 rozdziałów. Pierwszy rozdział jest wprowadzeniem w tematykę rozprawy, w którym przedstawiono 5 tez naukowych pracy oraz 9 celów, jakie postawił sobie Doktorant do udowodnienia w/w tez. Drugi stanowi przegląd literaturowy opisujący dotychczasowe osiągnięcia innych badaczy. Kolejny rozdział zatytułowany „Metodyka badań” został podzielony na 2 podrozdziały, z których pierwszy obejmuje opis metodyki badań wstępnych, a drugi badań szczegółowych. Tytuł „Metodyka badań wstępnych” jest troszeczkę mylący, gdyż w tym rozdziale znaczącą część stanowi opis metod mierzenia podstawowych parametrów materiałowych takich jak uziarnienie, gęstość, ścieralność, kształt ziaren itp., których wykonanie było konieczne do osiągnięcia założonych celów, ale metodyka pomiarów jest powszechnie znana. Te ogólne metody można byłoby

wyprowadzić do oddzielnego rozdziału, a w tym skoncentrować się na metodycznych działaniach Autora. Jest to oczywiście dyskusyjna sugestia, ale wydaje mi się, że łatwiej byłoby wówczas czytelnikowi rozprawy wyodrębnić własne osiągnięcia Doktoranta, które są imponujące.

Rozdział 4 zatytułowany „Model matematyczny” obejmuje bogaty opis literaturowych doniesień dotyczących wyznaczania, minimalnej prędkości fluidyzacji oraz prędkości swobodnego opadania cząstek ziaren w wodzie, które są kluczowe do weryfikacji modelu Richardsona i Zaki’ego. Rozdział ten zawiera także opis modeli charakteryzujących ekspansję złoża oraz podrozdział 4.3. zatytułowany „Teoretyczny dobór złóż wielowarstwowych pod kątem fluidyzacji”. Tytuł rozdziału 4.3. nie jest zbyt szczęśliwy, ponieważ w nim chodziło Autorowi jedynie o określanie warunków, przy których nie będzie zachodziło mieszanie się sąsiednich warstw. Istotnym osiągnięciem praktycznym, wzbudzającym podziw w odniesieniu do pracowitości i dokonań Pana mgra Pawła Guzdko jest rozdział 5 zawierający na 39-stronach tabele i wykresy pomiarów własnych. Rozdział ten ściśle łączy się z rozdziałami 6 i 7 stanowiących główne osiągnięcie Autora. Rozdział 6 zatytułowany „Wyniki modelowania matematycznego”, opisuje własne osiągnięcia pomiarowe, które Doktorant weryfikuje łącząc z modelami publikowanymi w literaturze, natomiast rozdział 7 dotyczy również weryfikacji, ale warunków mieszania, a ściślej niemieszania się sąsiednich warstw. Rozdział 8 zawiera podsumowanie przeprowadzonych badań oraz sformułowane 17 wniosków. Rozdział 9, to spis wykorzystanej literatury. Na podkreślenie zasługuje rozdział 10, zatytułowany „Załączniki”, który zawiera wykresy stanowiące dokumentację wykonanych badań. Ten rozdział pokazuje wielką pracę, jaką włożył Doktorant i osiągnięcia jakie uzyskał.

Rozprawa obejmuje 126 stron spójnego tekstu, 7 stron spisu piśmiennictwa, 2 strony streszczenia w języku polskim i 2 w języku angielskim, a także 34 strony Załączników. Dodatkowo zawiera 3 strony spisu tabel, 10 spisu rysunków oraz 13 stron wyników badań kształtów ziaren złóż wykonanych w laboratorium Politechniki Łódzkiej i w firmie Kamika Instruments KμK. W tekście spójnym znajduje się 91 tabel oraz 35 rysunków. Literatura obejmuje 86 pozycji, z których 21 to pozycje angielskojęzyczne, 57 polskojęzycznych, 5 norm i 3 strony internetowe.

Ocena pracy

Główne cele pracy i hipotezy badawcze skierowane były na opracowanie metod obliczania minimalnej prędkości fluidyzacji, ekspansji złóż podczas płukania oraz opisanie warunków określających jak najmniejszy stopień mieszania się sąsiednich warstw przy zastosowaniu złóż wielowarstwowych. Do badań użyto 6 materiałów filtracyjnych o zróżnicowanych wymiarach ziaren, które były płukane wodą o 4-ech różnych temperaturach, to jest: 10°C, 15°C, 20°C, 25°C. Temperatury zostały bardzo dobrze dobrane, gdyż obejmują typowy zakres temperatur wody jaki się spotyka w stacjach wodociągowych. Niskie temperatury wody występują w stacjach korzystających z wód podziemnych, a wyższe, w stacjach wykorzystujących wody powierzchniowe, szczególnie w okresach letnich. Pomiarów eksperymentalnych, ich weryfikacja obliczeniowa wykonana w formie modelowania matematycznego w pełni uzasadniają stwierdzenie, że cel badań został osiągnięty, a hipotezy zweryfikowane.

Wykonane przez Doktoranta badania uważam za bardzo wartościowe, zważywszy na ich zakres i wnikliwość. Na podkreślenie zasługują osiągnięcia Doktoranta w pokonywaniu trudności, jakie powstają podczas wszelkich badań eksperymentalnych, a które wymagają zaangażowania, dokładności i pracowitości. Szczególnie, że badania wykonywane były w bardzo szerokim zakresie, przy założeniu wielu zmiennych niezależnych.

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta zaliczam.

1. Poprawne metodycznie i bardzo szczegółowe wykonanie badań warunków płukania złóż filtracyjnych, polegających na:
 - a. pomiarach parametrów fizycznych mających zasadniczy wpływ na warunki płukania złóż zbudowanych z materiałów wybranych przez Doktoranta do badań.
 - b. pomiarach oporów hydraulicznych podczas płukania złóż, zarówno w stanie nieruchomym, jak i fluidalnym oraz pomiarach stopnia ekspansji w funkcji prędkości płukania.
 - c. zrealizowaniu bardzo szerokiego obszaru badań wynikającego z pomiarów 6-ciu złóż w zakresach 2 lub 3-ch wielkości ziaren oraz 4-ech różnych temperatur, a także na tyle szerokiego zakresu prędkości płukania, aby uchwycić warunki przepływu wody przez złożo nieruchome, wywołujące początek fluidyzacji oraz jego ekspansję.

- d. Wykorzystanie wyników powyższych pomiarów do opisu modelowego zjawisk.
2. Bardzo ważnym osiągnięciem jest zweryfikowanie otrzymanych wyników pomiarów przez skonfrontowanie ich z modelami opublikowanymi w literaturze. Dało to możliwość wpisania się w długą serię doświadczeń publikowanych, od kilkudziesięciu lat przez innych badaczy, zaznaczając swój wkład w osiągnięcia światowe, dodając złoża, które dotychczas nie były badane. Mam nadzieję, że te osiągnięcia zostaną opublikowane w szeroko dostępnych czasopismach.
 3. Wyznaczenie dla badanych materiałów wartości wykładnika potęgi „n” w modelu Richardsona-Zaki’ego opisującego wpływ prędkości płukania na porowatość ekspandowanego złoża.
 4. Zweryfikowanie modelu Cleasby’ego i Woodsa, który w latach późniejszych został zmodyfikowany przez Epsteina i LeClair dotyczącego wyznaczania gęstości pozornej (nazywanej gęstością mieszaniny), który zgodnie z sugestią twórców ma umożliwiać dobór poszczególnych warstw w złożach wielowarstwowych.

Mocną stroną w zakresie kryteriów metodycznych jest:

1. Oparcie badań eksperymentalnych na dobrze ugruntowanych i zweryfikowanych metodach badawczych zapewniających merytoryczną poprawność procedur pomiarowych.
2. Kompleksowość i prawidłową kolejność badań eksperymentalnych polegających na pomiarach cech materiałów (uziarnienie, gęstość, ścieralność) wśród, których, co warte podkreślenia wykorzystano nowoczesną metodę określania kształtu ziaren w ujęciu statystycznym. W dalszej kolejności mierzono minimalną prędkość fluidyzacji, ekspansję złoża podczas płukania, spadek hydrauliczny. Wyniki pomiarów były weryfikowane modelami teoretycznymi, a na końcu analizowano możliwości mieszania się sąsiednich warstw złóż.
3. Interpretacja wyników pomiarów wraz z komentowaniem zasadniczych trendów zmian jak i niektórych niuansów zachowania złóż podczas ich płukania. Ta interpretacja prowadzi do weryfikacji tezy pracy.

Istotnym osiągnięciem aplikacyjnym jest badanie nie tylko tradycyjnych materiałów takich jak piasek, czy hydroantracyt, ale także złóż mało znanych jak odmiany keramzytu

i szkła filtracyjnego, które dotychczas nie doczekały się kompleksowych badań przybliżających warunki prawidłowego płukania takich złożeń.

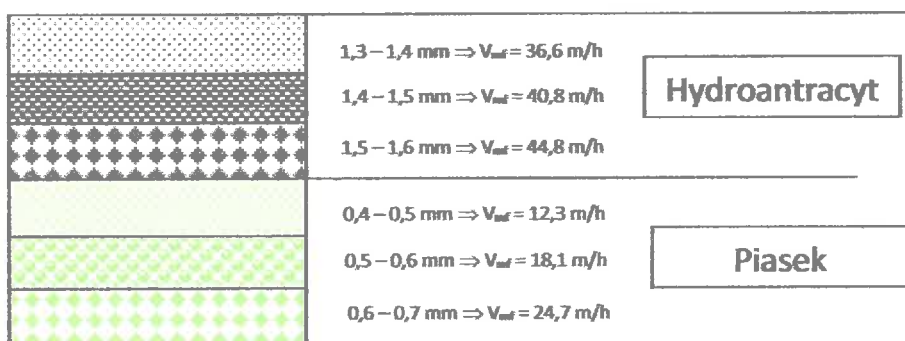
Bardzo ważnym osiągnięciem poznawczym Doktoranta jest zbadanie cech jakościowych mało znanych materiałów, które w przyszłości mogą znaleźć zastosowanie jako złoża filtracyjne, a także ich zachowywania się warunkach przepływu strumienia płucznego (minimalna prędkość fluidyzacji, ekspansja i straty ciśnienia) oraz warunków pracy w układzie dwu- lub trójwarstwowym.

Dyskusyjne uwagi merytoryczne

Uwagi zawarte poniżej, jak widać po tytule są uwagami dyskusyjnymi, a wyniknęły podczas studiowania tekstu rozprawy. Powstały po przemyśleniach samej pracy i zostały wyeksponowane dla zachęty do kontynuowania badań i uszczegółowienia wyników, które mogą następnie być opublikowane w dobrych czasopismach. Również liczę na wartościową dyskusję merytoryczną z Doktorantem podczas obrony rozprawy.

Istotne uwagi merytoryczne

1. Wysoce dyskusyjny jest sam model Cleasby'ego i Woodsa, modyfikowany przez Epsteina i LeClair dotyczący obliczania gęstości mieszaniny, gdyż uwzględnia jedynie gęstości materiału złoża i wody oraz jamistość. W tym modelu zupełnie nie mają znaczenia wielkości ziaren, a przecież w liczbie Archimedes, która odgrywa w tych badaniach bardzo istotną rolę średnica ziaren jest w trzeciej potęgze, a gęstość w pierwszej. Wyobraźmy sobie przypadek zastosowania układu (Rozprawa doktorska str. 91 przypadek 4) hydroantracyt 0,6 – 1,6 oraz piasek 0,4 - 0,8. Gdyby złoża ułożyło się idealnie jak podczas planowania działania filtru musiałyby wyglądać jak na poniższym szkicu (jest to jedynie wycinek granicy między warstwami).



W chwili rozpoczynania płukania i powolnego zwiększania prędkości strumienia wody płuczej po przekroczeniu prędkości 12,3 m/h drobne ziarna piasku zaczną

ulegać fluidyzacji i powolnej ekspansji. Mimo że ziarna hydroantracytu jeszcze nie będą w stanie fluidyzacji zaczną być niejako podpierane przez ekspandującą warstwę drobnych ziaren piasku usytuowaną poniżej. Ten stan narastającego podpierania będzie trwał, aż do sfluidyzowania warstwy antracytu. Ale takie podpieranie, co można zaobserwować w przezroczystych kolumnach może wywołać podniesienie całej warstwy antracytu (jeszcze nie sfluidyzowanego) tworząc niewielką przestrzeń wypełnioną wodą tzw. kieszeń. Wówczas większe ziarna antracytu zaczynają spadać poprzez kieszeń na jeszcze nie sfluidyzowaną warstwę większych ziaren piasku powodując naturalne mieszanie odpowiedniej wielkości ziaren piasku i antracytu. Szczególnie, że w takich przypadkach tworzą się wiry pionowe, które jak można zaobserwować w przezroczystej kolumnie przyspieszają mieszanie się warstw.

Tego zjawiska nie uwzględnia ten model.

Dodatkowo należy podkreślić, że niezmiernie ważne w przypadku złóż o więcej niż jednej warstwie jest jak najniższy współczynnik równomierności. Współczynniki o wartościach większych niż 1,4 dają minimalne możliwości na prawidłowego działania.

2. Z pierwszym punktem związane jest pytanie. Jak uzasadnić, że do tej analizy przyjmowano d_{80} i d_{20} , a nie inne?
3. W jaki sposób otrzymywano wykresy pokazujące spadek hydrauliczny w funkcji prędkości płukania (rys. 5.2.21 – 5.2.37)? Czy w końcowych wynikach uwzględniane był straty ciśnienia w warstwie podtrzymującej i ruszcie? Na tych wykresach powinno być odwzorowane straty ciśnienia jedynie w samym złożu. Duża liczba wykresów wykazuje, że straty ciśnienia maleją wraz ze wzrostem prędkości w stanie fluidyzacji. Dlaczego punkty pomiarowe nie układały się poziomo? Oczywiście w granicach błędu.
4. W przypadku wzorów aproksymujących wyniki pomiarów (rozdział 6.2.) konieczne jest dodanie zakresu stosowalności wzorów oraz jednostki w jakich należy wstawiać poszczególne wielkości. Również w tych wzorach zamiast „x” należałoby wstawić prędkość płukania np. „v”, a zamiast „y” ekspansję np. „E”.

Mniej istotne uwagi merytoryczne

1. Str. 11, wiersz 4 od dołu - jest „...porowatością rzędu około 5%...”. Czy to jest prawidłowe? Porowatość międzyziarnowa (jamistość) piasku jest zależna od stopnia upakowania i waha się od ok. 32% do ok. 40%. Chyba że w tym przypadku chodzi o

porowatość wewnętrzną ziaren, ale jest ona ważna przypadku materiałów porowatych, jak węgiel aktywny, natomiast marginalna dla piasku.

2. Str. 13, wiersz 7 i 1 od dołu oraz str. 14 wiersz 3 i 11 od góry – są sformułowania dotyczące „redukcji żelaza i manganu”. Przy usuwaniu żelaza i manganu zachodzi utlenienie, a nie redukcja. Jeśli używane jest sformułowanie potoczne w którym redukcja ma oznaczać zmniejszenie powinno być „redukcja stężenia żelaza i manganu”.
3. Str. 20, wzór (1) – czy ten wzór jest napisany poprawnie? Z tego wzoru zawsze f_n będzie zawsze równe 100%.
4. Str. 21 – Wyznaczanie gęstości ziaren złoża – metoda piknometryczna jest bardziej dokładna, szczególnie jeśli bada się materiały z podwyższoną porowatością wewnętrzną. Np. takim materiałem jest keramzyt. W metodyce nie opisano jak mierzono gęstość objętościową, w tym przypadku oznaczoną jako V_v (wzór 3 str. 21).
5. Str. 21 – wzór 3 – Jak rozumieć pojęcie „porowatość w stanie spoczynku”? W filtrze bezpośrednio po płukaniu jest złożo w stanie spoczynku, ale rozluźnione (porowatość większa). Po uruchomieniu filtrowania wody złożo się zagęszcza (ubija) ma mniejszą porowatość i też jest w stanie spoczynku.
6. Str. 42, tabela 5.1.2 – garnet 0,4 – 0,8 ma niewłaściwy opis w stosunku do badań, gdyż pomierzone średnice są poza tym zakresem – $d_{10} = 1,04$ mm, a $d_{60} = 1,1$ mm.
7. W literaturze prędkość płukania powszechnie wyrażana jest w „m/h”. Dlaczego w rozdziale 5.2. na wykresach i w tekście podawana jest ta prędkość w „m/db”? Z kolei w rozdziale 6 zarówno w tekście, tabelach i na wykresach prędkość ta wyrażana jest w „m/s”.

Uwagi edytorskie

1. Str. 7, wiersz 3 od dołu - jest „Huk” - powinno być „Huck”
2. Str. 12, wiersz 10 i 11 od dołu - jest „waga” - powinno być „masa”. Waga to - przyrząd.
3. Str. 17 – przy liczbach opisujących wielkość uziarnienia powinny być podane jednostki.
4. W wielu miejscach np. str. 20, wiersz 4 od góry używane jest pojęcie „ciężar” zamiast masy. Nie jest to zamiennik, gdyż ciężar to siła.

5. Str. 45, tabela 5.1.3. – gęstości należałoby podawać w SI – kg/m^3 , jest to istotne, gdyż np. w obliczeniach liczby Archimedes, która jest tu bardzo ważna trzeba wstawiać gęstość w tych jednostkach.
6. Krzywe na rys. 5.1.3 – 5.1.5 są mało czytelne. Lepiej byłoby np. krzywe dla jednego materiału dać w tych samych barwach, ale jedną jako linię ciągłą, a drugą przerywaną itp. To samo dotyczy wielu innych rysunków zbiorczych np. 5.2.15 – 5.2.17, 5.2.22 – 5.2.37 itd. To samo dotyczy znaczników, które można byłoby zróżnicować, dać np. koła, kwadraty, trójkąty itd.
7. Str. 49, tabela 5.1.6. – w całej pracy wymiary ziaren były podawane w mm, a w tej tabeli w metrach, Dlaczego?
8. W wielu miejscach używane jest obecnie bardzo modny wyraz, szczególnie wśród ekonomistów „wyliczono”. W tych kontekstach powinno być „obliczono”. Wyliczono oznacza – po pierwsze A, po drugie „B”, po trzecie „C” itd. czyli wyliczanie w kolejności występowania.

Wymienione powyżej uwagi zarówno merytoryczne jak i edytorskie nie podważają zaufania do osiągniętych wyników w pracy i nie wpływają na jej wysoką ocenę. Uwagi 1 ÷ 3 zawarte w rozdziale „Istotne uwagi merytoryczne” stanowią pole do dyskusji, która mam nadzieję będzie miała miejsce podczas obrony.

Wniosek końcowy

Rozprawę doktorską mgr inż. Pawła Guzdkę uznaję za sumienne, wnikliwe i konsekwentnie przeprowadzone opracowanie podjętego problemu badawczego. Wyznaczone cele pracy, czyli wykazanie możliwości budowy złożów wielowarstwowych z różnych materiałów – osiągnięte, a tezy badawcze mówiące, że odpowiednio dobrane materiały pozwalają na zastosowanie w filtrach wielowarstwowych, nadają się do skutecznego płukania i mogą być modelowane matematycznie - udowodnione. Doktorant wykazał należyte przygotowanie teoretyczne i praktyczne, znajomość współczesnej literatury dotyczącej tematu pracy, oraz umiejętność zaplanowania i przeprowadzenia badań. Autor pokazał, że potrafi prawidłowo zinterpretować uzyskane wyniki. Należy podkreślić, że Doktorant wykonał badania w bardzo szerokim zakresie uwzględniając niuanse wynikające z bardzo zróżnicowanych cech poszczególnych materiałów. Oryginalność i doniosłość osiągnięć mgr inż. Pawła Guzdkę pozwala mi wnosić o wyróżnienie niniejszej rozprawy doktorskiej.

Mając, zatem na uwadze podaną wyżej pozytywną ocenę osiągnięć Autora rozprawy stwierdzam, że praca pt. „Badania złóż wielowarstwowych stosowanych w filtrach do uzdatniania wody” spełnia warunki obowiązującej ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. (Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz.U. 2018 poz. 1668, Dz. Ust. Z dnia 20 stycznia 2020 r. poz. 85), Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. Ust. Z 2018 r. poz. 261), dlatego wnioskuję o jej przyjęcie, jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Pawła Guzdkę do publicznej obrony przed Komisją wyznaczoną przez Radę Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Krakowskiej.

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Siwiec

