Dr hab. inż. Jadwiga KRÓLIKOWSKA, prof. PK
Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki
Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **Pani mgr inż. Anny ZAJĄC** pt.„ Skuteczność usuwania wybranych niesteroidowych leków przeciwzapalnych ze ścieków metodą osadu czynnego"

1. Podstawa formalna recenzji

Recenzję opracowano w związku z pismem Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej z dnia 15.11.2017 roku oraz na podstawie umowy o dzieło z dnia 15.11.2017 roku o nr 01/19/2017/126.

2. Krótka charakterystyka rozprawy

Praca ma charakter badawczy i składa się z trzech podstawowych części: części literaturowej (rozdz. 2), części badawczej (rozdz., rozdz. 3, 4) oraz analizy otrzymanych wyników (rozdz. 5) a także podsumowania, spisu rysunków, tabel i bibliografii. Całość rozprawy obejmuje łącznie 6 rozdziałów, 187 strony, w tym 69 rysunków, 25 tabel, bibliografia zawiera 257 pozycji.

3. Ocena celowości podjęcia tematu

Tematyka pracy dotyczy złożonego oraz ważnego i aktualnego problemu oceny zagrożeń jakie niesie ze sobą obecność w środowisku niesteroidowych leków przeciwzapalnych (NLPZ) oraz ich biodegradacja. Wzrastające stężenia mikrozanieczyszczeń o aktywności farmaceutycznej w środowisku budzą współcześnie duży niepokój. Farmaceutyki podlegają w środowisku wielu przemianom, a ich wynikiem niejednokrotnie są związki charakteryzujące się znacznie większą toksycznością niż związek pierwotny. Szczególnie niebezpieczne może okazać się narażenie organizmów na działanie tych związków nawet przy niewielkich stężeniach ale w długim okresie.

Obecnie wzrasta spożycie leków zwłaszcza dostępnych bez recepty takich jak: ibuprofen, czy diklofenak będących składnikami wielu środków przeciwbólowych. Tradycyjne metody oczyszczania ścieków są niewystarczające do eliminowania NLPZ, co sprawia, że komunalne oczyszczalnie stanowią poważne, potencjalne źródło przedostawania się leków i ich metabolitów do środowiska. Wiedza o występowaniu tych zanieczyszczeń w środowisku z roku na rok się znacznie poszerza, obserwuje się również znaczny postęp w zakresie efektywności technologii możliwych do zastosowania dla ich eliminacji ze

środowiska. Ciągle jednak w niewielkim stopniu skutkuje to praktycznym zastosowaniem w skali technicznej rozwiązań pozwalających na skuteczne usuwanie mikrozanieczyszczeń O degradacji tych substancji decyduje zazwyczaj wiele czynników i one też generują różny stopień eliminacji niesteroidowych NLPZ ze środowiska nawet przy wykorzystaniu zaawansowanych i nowoczesnych procesów oczyszczania. Zasadnym więc jest podjęcie badań nad tymi związkami przeprowadzając dla nich testy: statyczne czy dynamiczne.

4. Merytoryczna ocena rozprawy

W części wprowadzającej, we wstępie (**rozdz. 1**) zdefiniowane zostały źródła pochodzenia substancji farmaceutycznych, ze wskazaniem na szpitale, gospodarstwa domowe, ośrodki weterynaryjne czy też gospodarstwa hodowlane. Analiza dotychczasowych badań z zakresu redukcji substancji farmaceutycznych ze ścieków za pomocą osadu czynnego, negatywne oddziaływanie na środowisko tych substancji, uwarunkowania prawne w tym zakresie były inspiracją do wyboru przez Doktorantkę tematyki badawczej.

Rozdz. 2 , dość obszerny obejmuje 54 strony i dotyczy przeglądu literatury stanowiącego tło do podjętych badań przez Doktorantkę. Przeglądu dokonano w wielu obszarach min.: rynku farmaceutycznego w Polsce i na świecie (**rozdz. 2.2**), obecności farmaceutyków w środowisku wodnym (**rozdz. 2.3**), obecności farmaceutyków w oczyszczalni ścieków (**rozdz. 2.4**) charakterystyki diklofenaku i ibuprofenu (**rozdz. 2.5**), sposobu i skuteczności usuwania zanieczyszczeń farmaceutycznych ze ścieków (**rozdz. 2.6**), regulacji prawnych w zakresie substancji farmaceutycznych w środowisku (**rozdz. 2.7**) oraz metod analitycznych oznaczania substancji farmaceutycznych w próbkach środowiskowych (**rozdz. 2.8**).

W **rozdz. 3** zaprezentowano tezę rozprawy i zadania badawcze pracy. Potrzeba szerszej znajomości wielkości stężeń poszczególnych rodzajów leków, badań w zakresie oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego przy uwzględnieniu zmieniających się parametrów fizykochemicznych, wyselekcjonowanie procesów decydujących o rozkładzie leków czy wpływ niesteroidowych leków przeciwzapalnych na stopień redukcji innych związków zawartych w ściekach stały się podstawą do sformułowania następujących tez:

1) *Powszechnie stosowana technologia oczyszczania ścieków miejskich oparta na metodzie osadu czynnego, na przykładzie Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach nie stanowi skutecznego rozwiązania pozwalającego na całkowite usunięcie związków farmaceutycznych zawartych w dopływających do niej ścieków.*
2) *Mikroorganizmy osadu czynnego wykazują zdolność do usuwania związków z grupy niesteroidowych leków przeciwzapalnych. Skuteczność usuwania jest zależna od parametrów fizykochemicznych takich jak: temperatura, pH, obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń oraz stężenie tlenu.*
3) *Diklofenak i ibuprofen mogą stanowić dodatkowe źródło węgla organicznego dla bakterii osadu czynnego umożliwiające im prowadzenie procesów życiowych.*

4) *Obecność związków farmaceutycznych w ściekach dopływających do miejskich oczyszczalni ścieków zmniejsza skuteczność usuwania zawartych w nich związków biogennych.*

Do udowodnienia postawionych tez Doktorantka w latach 2011-2017 zrealizowała badania terenowe oraz laboratoryjne ujęte w 8 zadań celowych, dla których opis i metodyka przedstawione zostały szczegółowo w **rozdz. 4.** Celem badań terenowych (**rozdz. 4.2**) było oszacowanie zawartości analizowanych leków z grupy niesteroidowych leków przeciwzapalnych (NLPZ) w warunkach rzeczywistych występujących w rzece Warcie (3 punkty pomiarowe w obszarze miasta Poznania i Lubonia), w Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach (4 punkty pomiarowe na ciągu technologicznym) oraz w ściekach poprodukcyjnych zakładów farmaceutycznych (6 zakładów zlokalizowanych na obszarze powiatu poznańskiego). Rozpatrywane przedsiębiorstwa zajmują się produkcją leków, dermo-kosmetyków i suplementów diety. Ścieki poprodukcyjne odprowadzają do kanalizacji sanitarnej miasta Poznania, a pobór ścieków wykonywany był bezpośrednio w studzienkach kanalizacji miejskiej mieszczących się na terenie zakładu. W każdym z punktów pomiarowych ścieki ujęte w ciemne butelki szklane były przewożone do laboratorium, gdzie poddawane były przesączaniu i analizie chromatograficznej. Oznaczenia obejmowały takie leki z grupy NLPZ jak: ibuprofen, ketoprofen, fenoprofen, naproksen, paracetamol oraz tolmetin.

W ramach badań laboratoryjnych przeprowadzono testy statyczne analizujące szybkość rozkładu oraz efektywność usuwania ibuprofenu przez mikroorganizmy osadu czynnego oraz test dynamiczny obrazujący sposób i zdolność rozkładu diklofenaku przy zmiennych parametrach fizykochemicznych panujących w układzie biologicznym typu SBR (**rozdz. 4.3**).

Pierwszy test statyczny mający na celu oszacowanie stopnia i szybkości redukcji ibuprofenu przeprowadzono przy zachowaniu stałej temperatury otoczenia wynoszącej 22°C i stężeniu początkowym leku równym 0,05mg/l, dozowanym jednorazowo. W badaniu wykorzystano osad czynny pochodzący z komory tlenowej Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach, a pożywkę dla mikroorganizmów przygotowano zgodnie z normą PN-C-04645. Do oznaczenie zawartości ibuprofenu wykorzystano łączoną technikę analityczną tj. chromatografię cieczową z tandemową spektrometrią mas LC-MS/MS, pozwalającą na precyzyjną i kompleksową analizę całego spektrum związków występujących w badanej matrycy. W dalszej części tego podrozdziału Doktorantka zobrazowała metodykę badań degradacji ibuprofenu z wykorzystaniem testu statycznego przy stężeniu początkowym leku równym 10,0 mg/l i zmiennej w zależności od serii pomiarowej temperatury: 8°C, 18°C i 28°C. W tych badaniach ibuprofen stanowił jedyne źródło węgla dla mikroorganizmów, nie dodawano żadnych innych składników odżywczych. Oznaczenie zawartości ibuprofenu w określonych odstępach czasu w cyklu dobowym przeprowadzono również z wykorzystaniem chromatografii cieczowej z tandemową spektrometrią mas LC-MS/MS.

Rozdz. 4.4 poświęcono opisie metody określania zawartości diklofenaku w układzie dynamicznym, przy zmiennych parametrach fizykochemicznych tj. odczynu pH, stężeniu tlenu oraz ilości pożywki syntetycznej. Wg dotychczasowych badań diklofenak uważany jest za substancję stosunkowo trudno rozkładalną na drodze biologicznej ale biotransformowalną

w określonych warunkach. Ulega on przemianom na skutek działań czynników abiotycznych, w szczególności promieniowania UV i rodników hydroksylowych. Mimo, że jego rozkład przez czyste szczepy bakterii jest znikomy, złożone konsorcja organizmów żywych (np. osad czynny) mogą doprowadzić do częściowej transformacji jego cząsteczek Dlatego zdecydowano się do usuwania tego leku zastosować proces biologicznego rozkładu bazując, podobnie jak w testach statycznych na osadzie czynnym z Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach. Doktorantka zaproponowała nowatorskie rozwiązanie układu technologicznego typu SBR składającego się z dwóch reaktorów R1 i R2, wykonanego w skali laboratoryjnej. Przy ciągłym dozowaniu diklofenaku o stężeniach odpowiednio 1, 5 i 10 mg/l i założonym czasie zatrzymania 4 dób analizowano: zdolność usuwania diklofenaku na wyhodowanym i zaadaptowanym osadzie czynnym, zdolność do adsorpcji diklofenaku na kłaczkach osadu czynnego. Wyjściowe warunki pracy układu kształtowały: temperatura 20°C ± 2°C, stężenie tlenu na poziomie 2 mgO_2/l ±1 mgO_2/l. Wartość odczynu pH ustabilizowana przez organizmy osadu czynnego w układzie na poziomie 7,0 – 7, 5 zdefiniowany jako naturalny, w kolejnych seriach badań był obniżany do wartości 6,5 a następnie 6. Skład pożywki (ścieku syntetycznego) Doktorantka przyjęła w oparciu o literaturę, który w trakcie wykonywanych kolejnych serii badań modyfikowała uzyskując dobre warunki do namnażania mikroorganizmów charakterystycznych dla rozwoju w warunkach tlenowych. Harmonogram badań testu dynamicznego przedstawia rysunek 15. Spośród parametrów fizykochemicznych Doktorantka oznaczała: suchą masę osadu, fosfor ogólny Pog, ortofosforany $P\text{-}PO_4$, azot ogólny Nog, azotany $N\text{-}NO_3$ amoniak $N\text{-}NH_4$, ChZT oraz BZT_5 zgodnie z obowiązującymi normami i wytycznymi. Oznaczenie zawartości diklofenaku dokonano techniką LC-MS/MS z jonizacją poprzez elektrorozpylanie. Do analizy adsorpcji diklofenaku na kłaczkach osadu czynnego zastosowano ekstrakcje ciecz-ciało stale a następnie technikę LC-MS/MS. Dla potwierdzenia wiarygodności otrzymanych wyników przeprowadzono badania widm FTIR z wykorzystaniem spektometru Vertex.

Najobszerniejszy **rozdział rozprawy (5)** prezentuje wyniki przeprowadzonych badań. I ich analizę W początkowej jego części (**rozdz. 5.1**) przedstawiono skale występowania ibuprofenu, ketoprofenu, fenoprofenu, naproksenu oraz paracetamolu będących przedstawicielami niesteroidowych leków przeciwzapalnych oraz podjęto próbę wyjaśnienia ich zmiennych rozkładów stężeń w wyznaczonych punktach pomiarowo-kontrolnych. Analizując pomiary na rzece Warcie paracetamol wykazywał najwyższe stężenia spośród analizowanych leków NLPZ niemal w każdym z punktów kontrolno-pomiarowym i w każdym z analizowanych okresów pomiarowych (rys. 18-20, rys. 22-23), najwyższe stężenie tego leku wyniosło 337,66 ng/l., a pozostałe wartości wahały się na poziomie 17,7 – 265,93 ng/l. Największa wartość średnia stężenia paracetamolu została odnotowana na odcinku Mostu Św. Rocha i wynosi 132,92 ng/l, dla pozostałych dwóch punktów pomiarowych na rzece Warcie wartości niewiele odbiegają. (rys. 21). Obok paracetamolu, jak wykazały badania Doktorantki do najczęściej występujących leków w tym środowisku należą są ibuprofen i naproksen. Kolejno analizie poddano zmianę wartości stężeń analizowanych leków w poszczególnych odcinkach pomiarowo-kontrolnych oraz podatność związków farmaceutycznych na degradacje. Wzrost stężenia wraz z kierunkiem biegu rzeki wiązano z nielegalnymi zrzutami ścieków czy dopływami z przelewów burzowych. Proces degradacji

związków farmaceutycznych jest zależny od wielu parametrów związanych zarówno ze środowiskiem np. temperatura, pH, prędkość przepływu wody w rzece itp. jak i z związkiem farmaceutycznym np. masa cząsteczkowa, właściwości hydrofitowe, struktura, typ wiązania itp.. Jako główny mechanizm przyczyniający się do redukcji związków farmaceutycznych w środowisku wskazano proces rozkładu biologicznego. Wątek ten nie był rozwijany w pracy z uwagi na niekompletne dane na temat mikroorganizmów przyczyniających się do mineralizacji określonych grup leków,

Przebieg degradacji wybranych leków przeciwbólowych w Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Kozigłowach Doktorantka przeanalizowała w oparciu o badania stężenia związków farmaceutycznych z czterech punktów ciągu technologicznego tj. przepompowni ścieków surowych, komory denitryfikacji, komory nitryfikacji oraz w odbiorniku tuż po rzucie oczyszczonych ścieków (rys. 25, 26). Otrzymane wartości wskazują na brak całkowitego rozkładu związków farmaceutycznych za pomocą tradycyjnych metod z wykorzystaniem osadu czynnego, przeznaczonego do oczyszczania głównie ścieków komunalnych. Największe stężenie na dopływie do oczyszczalni odnotowano dla paracetamolu (51 400 ng/l), najmniejsze fenoprofenu (62,80 ng/l. Najmniejszy stopień redukcji odnotowano dla fenoprofenu (73,43%), w przypadku pozostałych związków skuteczność usuwania analizowanych farmaceutyków wynosiła powyżej 90% , dla paracetamolu blisko 100% (99,97%). Na rysunkach 27 i 28 Doktorantka przedstawia stopień redukcji farmaceutyku w poszczególnych odcinkach technologicznych COŚ, w konkluzji stwierdza, że nie określono, jaki procent usunięcia leków następuje w wyniku biodegradacji.

Stężenie wybranych farmaceutyków z grupy leków NLPZ zawartych w ściekach poprodukcyjnych odprowadzanych do miejskiej kanalizacji z wybranych zakładów farmaceutycznych działających na obszarze powiatu poznańskiego przedstawiają rysunki 31 i 32.

W **rozdz. 5.2** Doktorantka prezentuje wyniki degradacji ibuprofenu w teście statycznym z wykorzystaniem osadu czynnego z komponentami w postaci pożywki zapewniającej mikroorganizmom prowadzenie niezbędnych procesów życiowych. Analizie poddano rozkład ibuprofenu w czasie przy założonym stężeniu leku oraz dla zmiennych wartości temperatury otoczenia. Dwie serie badań testów statycznych wykazały, że ibuprofen uległ degradacji. Przedstawione w rozprawie wykresy zależności stopnia redukcji ibuprofenu od czasu trwania testu dowodzą, że redukcja stężenia farmaceutyku następuje już w ciągu pierwszych godzin kontaktu z mikroorganizmami osadu czynnego (rys. 33). Wyniki prezentowane na rysunku 34 dowodzą, że wzrost temperatury przyspiesza, intensyfikuje proces usuwania ibuprofenu. Wyższa temperatura zapewniła również utrzymanie pH na poziomie 7,0 (rys. 35) oraz obniżanie wartości ChZT (rys. 36).

Wyniki z ostatniego etapu badań dotyczących degradacji diklofenaku w układzie dynamicznym zawiera **rozdz. 5.3**. Doktorantka jest autorem układu w skali laboratoryjnej stanowiska badawczego bioreaktorów typu SBR, oznaczonych odpowiednio R1 i R2, wykonanych ze stali nierdzewnej o pojemności czynnej 50 l. Wpracowany osad czynny pochodził z komory tlenowej COŚ w Koziegłoach, warunki pracy określała: temperatura 20°C, tlen w granicach 2-3 mg/l, odczyn pH = 7,0 – 7,5 oraz stężenie suchej masy osadu w granicach 3 g/l. Pożywka w trakcie wpracowywania osadu była modyfikowana, po około 60 dniach uzyskano różnorodność gatunków wśród mikroorganizmów, ciemny kolor i świeży

zapach oraz wysoki przyrost biomasy. Diklofenak dozowany był do układu w dawkach o stężeniu 1, 5 i 10 mg/l przyjętych wg danych literaturowych, zmienne warunki dotyczyły również pH i stopnia natlenienia. Doktorantka badania wykonała w 6 cyklach (seriach), na które składało się 16 doświadczeń. Stopień redukcji diklofenaku po 4 dobach od zadozowania określonej dawki leku w bioreaktorze R2 przedstawia wykres na rysunku 53. Analiza otrzymanych wyników pozwoliła wyciągać szereg wniosków, znajdujących potwierdzenie w badaniach krajowych i światowych w omawianej tematyce m.in. że degradacja diklofenaku następuje w procesie rozkładu mikrobiologicznego, obecność diklofenaku nie działa toksycznie na mikroorganizmy osadu czynnego natomiast może stanowić źródło węgla przyczyniając się do wzrostu wybranych mikroorganizmów. Analizę mikrobiologiczną osadu czynnego przedstawiają tabele 17-19 oraz rysnuki 56-57. W ramach tych badań Doktorantka podjęła również próbę oceny wartości wybranych wskaźników zanieczyszczeń, takich jak: ChZT, BZT_5, fosfor ogólny Pog, azot ogólny Nog, azot azotynowy. Zmiany ich wartości w obu bioreaktorach układu technologicznego w okresie dozowano diklofenaku przedstawiono w rozprawie na rysunkach 45 – 52.

Ogólną tendencje zmian jakości osadu czynnego oraz jakości ścieków oczyszczonych w obecności diklafenaku Doktorantka uzyskała przeprowadzając analizę statystyczną dla badań w układzie dynamicznym i dotyczyła indeksu osadu, chemicznego zapotrzebowania na tlen (ChZT), biologicznego zapotrzebowania na tlen (BZT_5), azotu ogólnego, (Nog), fosforu ogólnego (Pog) oraz redukcji diklofenaku, w zależności od przyjętego odczynu pH w danym cyklu badawczym. Rozkłady wartości tych parametrów przedstawiono na wykresach typu ramka - wąsy (rys. 59-68).

W końcowej części **rozdziału 5** przeanalizowano w jakim stopniu rozkład diklofenaku nastąpił w wyniku adsorpcji. Otrzymane wyniki wskazują na niski procent adsorpcji na kłaczkach osadu czynnego.

Zakończenie rozprawy stanowią: podsumowanie i wnioski (**rozdz. 6**). W ramach podsumowania Doktorantka odnosi uzyskane wyniki z prowadzonych badań do postawionych tez konkludując ich zasadność. W rozprawie zostało przedstawionych 12 wniosków. Zostały one precyzyjnie zredagowane i są dobrą rekapitulacją przeprowadzonych badań, świadczącą o ich realizacji w pełnym zakresie w stosunku do wcześniej zaplanowanego. Szkoda, że Doktorantka nie zarysowała w nich również koncepcji dalszych badań np. przejścia ze skali laboratoryjnej na skalę techniczną rozwiązań pozwalających na skuteczne usuwanie mikrozanieczyszczeń.

Spis literatury obejmuje 257 pozycji, na które składają się: publikacje zagraniczne (stanowią ponad połowę pozycji), publikacje krajowe, dyrektywy, normy opracowania statystyczne, strony internetowe. Świadczy to o dobrej znajomości przez Doktorantkę piśmiennictwa dotyczącego tematyki rozprawy, zarówno krajowego jak i zagranicznego, które ze znawstwem cytowała w swojej rozprawie. Doktorantka wykazała współautorstwo w 6 publikacjach (w 4 jako pierwszy autor), 4 opublikowane zostały w czasopiśmie naukowym posiadającym współczynnik wpływu imapct factor (IF).

Reasumując merytoryczną ocenę rozprawy stwierdzam, że mgr inż. Anna Zając zaplanowała i przeprowadziła kompleksowe, pracochłonne i trudne w realizacji badania, które mają zarówno charakter naukowy, poznawczy jak i utylitarny. Doktorantka postawiła sobie bardzo szeroki zakres badań, obejmujący 8 zadań, gwarantujących udowodnienie tez. Cykl badań trwał nieprzerwanie od 2011 do 2017 roku. Na szczególną uwagę zasługuje zaprojektowane i wykonane przez Doktorantkę stanowisko badawcze w skali laboratoryjnej będącym modelem oczyszczalni ścieków z wykorzystaniem dwóch reaktorów typu SBR. Doktorantka bardzo ładnie graficznie prezentuje cały zakres swoich prac badawczych. Zwraca pozytywną uwagę prezentacja wyników badań bardzo dobrze udokumentowanych licznymi wykresami różnych zależności i zestawieniami tabelarycznymi. Za istotny walor rozprawy należy uznać jej wymagany poziom naukowy oraz kompleksowy charakter zaprezentowanych rozważań.

Bardzo dobra znajomość tematyki rozprawy literatury, nowoczesnych narzędzi badawczych, a także sposób realizacji zadania naukowego świadczą o bardzo dobrym opanowaniu przez Doktorantkę umiejętności rozwiązywania złożonych problemów naukowych.

Tezy rozprawy można uznać za udowodnione, cel rozprawy za wypełniony, a jej zakres za zrealizowany.

5. Uwagi szczegółowe

1. Str. 5. 5 werset od dołu jest: *Pierwszy test obejmował określenie szybkości ibuprofenu* .... powinno być Pierwszy test obejmował określenie szybkości degradacji ibuprofenu .....
2. Str. 16. 5 werset od dołu jest: *Mają za zadanie ..... częstości serca* powinno być Mają za zadanie ..... częstości bicia serca
3. Str. 43. 6 werset od góry jest: *W zależności zawartości* ... powinno być W zależności od zawartości ...
4. Str. 71. Ostatni werset od dołu jest: *za w badaniu* ... powinno być w badaniu ....
5. Str. 100. Ostatni werset od dołu jest zbędny
6. Str. 108. 5 werset od góry jest: *naproksenu* powinno być ketaprofenu
7. Str. 112. 16 werset od dołu jest: *które mają wpływ przebieg* .... powinno być które mają wpływ na przebieg
8. Str. 130. 5 werset od dołu jest: *poczas* powinno być podczas
9. Str. 135. 4 werset od góry jest: *w tabeli II* ... powinno być w tabeli 15
10. Str. 168. 14 werset od góry jest: .... *w stężeniu 10 mg/l diklofenak* ... powinno być .... w stężeniu 10 mg/l ibuprofen ...
11. Proszę wyjaśnić dlaczego wśród leków z grupy NLPZ nie wybrano diklofenaku do przeprowadzenia analizy jego występowania i rozkładu w środowisku rzeczywistym natomiast przeprowadzono dla niego test dynamiczny określający efektywność jego usuwania.

12. Proszę podać w jakim kierunku zamierza Pani prowadzić dalsze badania oraz w jakim stopniu testowany w warunkach laboratoryjnych układ technologiczny może być przełożony na warunki rzeczywiste.

6. Wniosek końcowy

Przedstawiona przez **Pani mgr inż. ANNĘ ZAJĄĆ** rozprawa doktorska pt. „Skuteczność usuwania wybranych niesteroidowych leków przeciwzapalnych ze ścieków metodą osadu czynnego" stanowi znaczące, wartościowe osiągnięcia jej Autorki i wnosi oryginalny wkład do rozwoju wiedzy o obecności niesteroidowych leków przeciwzapalnych (NLPZ) w środowisku oraz do rozkładu przez mikroorganizmy osadu czynnego ibuprofenu i diklofenaku.

Rozprawa spełnia w moim przekonaniu wymagania stawiane rozprawom doktorskim zawarte w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami, o stopniach naukowych, tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki [jedn. tekst Dz. U. Nr 84 poz. 455 (2011)]. Wobec tego wnoszę o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Wnoszę również o wyróżnienie.

Kraków, styczeń 2018 roku.