

Lublin, dnia 11.03.2019 r.

dr hab. Krzysztof Józwiakowski, prof. nadzw. UP
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Katedra Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin
tel./fax. 81 53 206 44
e-mail: krzysztof.jozwiakowski@up.lublin.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Aleksandry Bawiec**
pt., **Wpływ wybranych czynników środowiskowych na skuteczność usuwania
azotu i fosforu ze ścieków oczyszczanych w systemie hydroponicznym**
wykonanej w Instytucie Inżynierii Środowiska
na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji
Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu
pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Krzysztofa Pulikowskiego
promotor pomocniczy: dr hab. inż. Katarzyna Pawęska, prof. UPWr

1. Podstawa opracowania

Zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji – Pana prof. dr hab. inż. Bernarda Kontnego z dnia 28.01.2019 r.

2. Ogólne omówienie rozprawy

Oczyszczanie ścieków w różnego rodzaju obiektach inżynierskich jest zagadnieniem bardzo ważnym ze względu na skuteczną ochronę jakości zasobów wodnych. Ponieważ usuwanie zanieczyszczeń w oczyszczalniach ścieków zachodzi przy udziale procesów fizycznych, biologicznych i chemicznych, dlatego analiza prawidłowości przebiegu takich procesów jest bardzo trudna. W tym celu niezbędna jest realizacja prac eksperymentalnych.

Projektowanie i analiza efektywności funkcjonowania różnych systemów oczyszczania ścieków stanowi znaczne wyzwanie dla inżynierów i naukowców. Efektywność usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalniach ścieków jest przedmiotem ogromnej liczby publikacji naukowych, które są efektem badań prowadzonych zarówno w skali laboratoryjnej – w systemach modelowych, jak również realizowanych w obiektach pracujących w pełnej skali technicznej. Pomimo tego, że istnieje wiele prac, które poruszają problemy skuteczności usuwania zanieczyszczeń w różnych rozwiązaniach technologicznych, nadal niewiele jest publikacji, w których analizowane są efekty usuwania azotu i fosforu ze ścieków w systemach hydroponicznych.

W rozprawie doktorskiej opracowanej przez mgr inż. Aleksandrę Bawiec zostały zaprezentowane wyniki badań stanowiące rozwiązanie problemu naukowego, który jest jednocześnie celem pracy i obejmuje określenie wpływu wybranych czynników środowiskowych na skuteczność usuwania azotu i fosforu ze ścieków oczyszczanych w systemie hydroponicznym.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska pt. „*Wpływ wybranych czynników środowiskowych na skuteczność usuwania azotu i fosforu ze ścieków oczyszczanych w systemie hydroponicznym*” obejmuje 4 oryginalne prace naukowe z IF, opublikowane w czasopismach z listy A Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego:

- 1) **Aleksandra Bawiec**, 2018. *Efficiency of nitrogen and phosphorus compounds removal in hydroponic wastewater treatment plant*. Environmental Technology, DOI: 10.1080/09593330.2018.1436595 (**25 pkt.; IF - 1,666**, udział doktorantki – **100%**)
- 2) **Aleksandra Bawiec**, Katarzyna Pawęska, Krzysztof Pulikowski, Joanna Kajewska-Szkudlarek, 2018. *Influence of insolation on the efficiency of NO₃ removal from wastewater treated in the hydroponic system*; Water Air & Soil Pollution, 229:232 (**25 pkt.; IF – 1,769**, udział doktorantki – **70%**)
- 3) **Aleksandra Bawiec**, Katarzyna Pawęska, Krzysztof Pulikowski, 2018. *LED light use for the improvement of wastewater treatment in the hydroponic system*. Environmental Technology, 2018, DOI: 10.1080/09593330.2018.1554007 (**25 pkt.; IF – 1,666**, udział doktorantki – **60%**)
- 4) **Aleksandra Bawiec**, Katarzyna Pawęska, Krzysztof Pulikowski, 2017. *Analysis of granulometric composition of algal suspensions in wastewater treated with hydroponic method*. Water Air & Soil Pollution 228:366 (**25 pkt.; IF – 1,769**, udział doktorantki - **80%**)

Wymienione prace opublikowano w latach 2017-2018, jako oryginalne artykuły naukowe, za które łączna liczba punktów, określona na podstawie listy MNiSW wynosi **100**, a **IF = 6,870**. Natomiast biorąc pod uwagę średni udział procentowy Doktorantki (**77,5%**), liczba punktów własnych wynosi **77,5 pkt.**, a własny **IF = 5,319**. Zaletą ocenianej rozprawy doktorskiej jest to, że czasopisma w których opublikowano wymienione prace należą do wyróżniających się na świecie wydawnictw prezentujących wyniki badań z zakresu ochrony i kształtowania środowiska. W jednej publikacji Doktorantka jest jedynym autorem, a w trzech pozostałych pierwszym autorem.

W ocenianej rozprawie doktorskiej sformułowano 2 hipotezy badawcze:

1. *Hydroponiczne systemy doczyszczania ścieków komunalnych pracujące w klimacie umiarkowanym zapewniają obniżenie stężenia związków azotu i fosforu przed odpływem ścieków do odbiornika.*
2. *Doświetlanie makrofitów światłem LED oraz wzbogacanie ścieków CO₂ pozwala na zwiększenie skuteczności usuwania związków biogenych ze ścieków.*

W pracy podano również 4 cele szczegółowe, które obejmowały:

- *Określenie skuteczności usuwania azotu i fosforu ze ścieków w lagunie hydroponicznej wybranej komunalnej oczyszczalni ścieków (publikacja 1),*
- *Ocenę zasadności stosowania laguny hydroponicznej do oczyszczania ścieków w obiekcie pracującym w klimacie umiarkowanym (publikacja 2),*
- *Analiza możliwości intensyfikacji procesów doczyszczania ścieków w lagunach hydroponicznych (wykorzystanie światła LED, wzbogacanie ścieków dwutlenkiem węgla) (publikacja 3),*
- *Określenie składu granulometrycznego zawieszin w ściekach oczyszczanych z wykorzystaniem metody hydroponicznej w warunkach dodatkowego naświetlania oraz bez dodatkowego źródła światła (publikacja 4).*

Tytuł dysertacji wiąże się bezpośrednio ze sformułowanymi тезami i celami rozprawy, jak również z zakresem wykonanych badań, zaprezentowanych w 4 wybranych publikacjach, które stanowią spójny jednotematyczny cykl, składający się na rozprawę doktorską.

W pracy doktorskiej Pani mgr inż. Aleksandry Bawiec zaprezentowano wyniki badań, wykonywanych w warunkach terenowych i laboratoryjnych. Badania terenowe realizowano w latach 2013-2016, w obiekcie wyposażonym w lagunę hydroponiczną stanowiącą trzeci stopień oczyszczania ścieków w Miejskiej Oczyszczalni Ścieków z osadem czynnym, zlokalizowanej w gminie Paczków, położonej w południowo-zachodniej części Polski (50° 27' N, 17° 00' E). Obiekt został zaprojektowany na maksymalne obciążenie hydrauliczne wynoszące 2 500 m³/d, a rzeczywista objętość dopływających ścieków nie przekraczała 1350 m³ w ciągu doby, w tym około 500-700 m³ stanowiły ścieki dowożone.

Badania laboratoryjne wykonywano na specjalnie do tego przygotowanym stanowisku badawczym zbudowanym z dwóch zbiorników z polietylenu o pojemności 60 dm³ i nieprzezroczystych ścianach, do których każdorazowo wprowadzano 30 dm³ ścieków. W trakcie prowadzenia badań stanowisko badawcze rozbudowano o układ dwóch dodatkowych zbiorników, w których prowadzona była suplementacja ścieków dwutlenkiem węgla, aby zintensyfikować rozwój glonów.

W publikacji nr 1 zaprezentowano wyniki badań jakości ścieków dopływających i odpływających z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Paczkowie, a także dopływających i odpływających z pracującej tam laguny hydroponicznej. Na podstawie uzyskanych wyników określono skuteczność usuwania związków azotu i fosforu zarówno w II-stopniowym układzie oczyszczania (sito-piaskownik – bioreaktor), jak i w układzie trzystopniowym (sito-piaskownik – bioreaktor – laguna hydroponiczna). Wykazano, że średnia skuteczność usuwania azotu ogólnego była na zbliżonym poziomie zarówno w układzie dwu- jak i trzystopniowym oraz wynosiła odpowiednio 83% i 82%. Z przeprowadzonych badań wynika, że zastosowanie doczyszczania ścieków w lagunie hydroponicznej nie zwiększyło stopnia usuwania azotu ogólnego. Podobnie niewielkie różnice w skuteczności usuwania stwierdzono w przypadku azotu amonowego (77-79%), jak również dla fosforu ogólnego (84-85%). Jednak nieznacznie lepsze efekty uzyskano dla samego reaktora biologicznego, bez laguny hydroponicznej. Podczas badań stwierdzono wzrost stężenia azotu azotanowego w ściekach po reaktorze biologicznym, co związane było z przebiegiem procesu nityfikacji.

W ramach badań przeprowadzonych w pełnej skali technicznej wykazano, że laguna hydroponiczna zastosowana jako III^o oczyszczania nie zapewnia dodatkowego, skutecznego usuwania biogenów, a wręcz wpływa na wzrost stężenia niektórych form azotu i fosforu po przepłynięciu ścieków przez koryto laguny. Wskazano, że przyczyną tego może być niedoszacowana powierzchnia laguny hydroponicznej, a co za tym idzie zbyt krótki czas przepływu ścieków, wynoszący około 9 godzin, który może być niewystarczający do skutecznego pobierania biogenów przez rośliny.

W kolejnej pracy nr 2 dokonano analizy wpływu usłonecznienia na skuteczność usuwania azotu azotanowego ze ścieków oczyszczanych w lagunie hydroponicznej przy Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Paczkowie. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że największy wpływ na skuteczność usuwania azotanów ma wartość usłonecznienia z okresu 10 dni poprzedzających wykonanie analiz jakości ścieków. Minimalna wartość 10-dniowej sumy usłonecznienia dla uzyskania jakiegokolwiek efektu usuwania N-NO₃ ze ścieków oczyszczanych w tym systemie wynosi 48,6 godzin. Nie stwierdzono również istotnych statystycznie zależności między wysokością temperatury powietrza, a skutecznością usuwania N-NO₃ ze ścieków, co może świadczyć o tym, że wzrost temperatury bardziej sprzyja intensyfikacji procesu nityfikacji, niż pobieraniu tej formy azotu przez rośliny. Wskazano, że w warunkach klimatycznych, w jakich pracuje laguna hydroponiczna obiektu badawczego zlokalizowanego w Paczkowie, usłonecznienie jest zbyt małe aby zapewnić skuteczne pobieranie biogenów przez makrofitów w ciągu całego roku kalendarzowego. Doktorantka

zapropowała rozwiązanie istniejącego problemu, polegające na zapewnieniu dodatkowego źródła światła i doświetlanie roślin w lagunie w okresie od połowy października do połowy kwietnia. Jednakże zwróciła uwagę na fakt, że doświetlanie systemu hydroponicznego może także intensyfikować rozwój glonów, co z jednej strony może wspomagać procesy usuwania biogenów, a z drugiej strony może powodować zanieczyszczenie wód odbiornika nadmiernym ładunkiem zawiesin.

Wyniki i wnioski z badań, które Doktorantka zaprezentowała w publikacjach nr 1 i 2 stały się podstawą do założenia doświadczenia w skali laboratoryjnej, w ramach którego określono wpływ doświetlania makrofitów światłem LED na skuteczność usuwania związków biogenych ze ścieków biologicznie oczyszczonych. Wyniki tych badań przedstawiono w pracy nr 3.

W publikacji nr 3 przeanalizowano wpływ doświetlania statycznego systemu hydroponicznego światłem niebieskim i czerwonym emitowanym przez diody LED. Badania prowadzono w warunkach napowietrzania ścieków oraz w warunkach suplementacji ścieków dwutlenkiem węgla w celu stworzenia warunków do intensywnego rozwoju biomasy glonów, które mogą przyczyniać się do redukcji stężeń zanieczyszczeń. W ramach wykonanych badań wykazano, że statystycznie istotne różnice w skuteczności usuwania zanieczyszczeń w warunkach z doświetlaniem i bez wystąpiły tylko dla form azotu – azotu ogólnego, azotu amonowego oraz azotanowego. W przypadku fosforu ogólnego, jak i fosforanów nie zanotowano różnic w skuteczności oczyszczania, ani w zbiornikach z dodatkowym napowietrzaniem, ani w zbiornikach z suplementacją CO₂.

Szczególnie pozytywne działanie doświetlania odnotowano dla ścieków napowietrzanych, gdzie poziomy redukcji biogenów były wyższe w zbiorniku wyposażonym w układ LED. W przypadku suplementacji CO₂ dodatkowe światło w porze nocnej nie miało większego znaczenia dla procesów oczyszczania.

W pracy nr 4 dokonano analizy składu granulometrycznego ścieków poddawanych dodatkowemu doświetlaniu w porze nocnej w celu określenia intensywności rozwoju glonów w układzie hydroponicznym. Wykazano występowanie odmiennej dynamiki wzrostu i spadku średnich średnic cząsteczek zawartych w ściekach. Zmiany wielkości średnic zastępczych związane były z rozwojem glonów, który w zbiornikach charakteryzował się zróżnicowaną intensywnością, wynikającą z odmiennych warunków środowiskowych. Badania wykazały, że w ściekach oczyszczanych w systemie hydroponicznym wielkość cząstek zawiesin mieści się w przedziale od 0,1 do 100 μm. Wśród organizmów tworzących zawiesiny o zidentyfikowanym w badaniach rozmiarze wyróżniono glony, a także pierwotniaki i inne

organizmy planktonowe. Stwierdzono, że w ściekach doświetlanych, podczas wszystkich trzech serii pomiarowych, cząstki charakteryzowały się większą powierzchnią aktywną, a co za tym idzie lepszymi właściwościami sorpcyjnymi, niż zawiesiny w ściekach niedoświetlanych. Wskazano, że zarówno w zbiornikach z doświetlaniem, jak i bez jego zastosowania dominowały jednak cząstki o średnicach większych niż 10 μm , co wskazuje na ich niewielkie zdolności katalityczne i słabą reaktywność.

W efekcie przeprowadzonych badań stwierdzono, że największym wyzwaniem dla eksploatatora oczyszczalni jest określenie optymalnego momentu usuwania zawiesin z hydroponicznego układu oczyszczania, aby zapobiec zanieczyszczeniu odbiornika nadmierną ilością zawiesin. Badania składu granulometrycznego cząstek zawiesin w ściekach stanowią źródło wiedzy o podstawowych parametrach charakteryzujących te cząstki i mogą w znacznej mierze przyczynić się do zwiększenia skuteczności oczyszczania ścieków w różnych systemach oczyszczania ścieków.

Badania wykonane przez Doktorantkę mogą wzbudzać uznanie ze względu na uzyskany materiał wynikowy, a szczególnie w zakresie zastosowania nowatorskiego w technice sanitarnej rozwiązania, jakim jest doświetlanie makrofitów porastających lagunę hydroponiczną światłem LED w celu poprawy warunków świetlnych i zwiększenia aktywności fotosyntetycznej roślin, a co za tym idzie – zwiększenia skuteczności pobierania biogenów przez rośliny.

Wyniki badań zaprezentowane w cyklu 4 monotematycznych publikacji składających się na rozprawę doktorską mgr inż. Aleksandr Bawiec świadczą o tym, że:

1. Laguna hydroponiczna, pracująca jako trzeci stopień oczyszczania ścieków, w warunkach klimatu umiarkowanego, nie zapewnia dodatkowego usuwania biogenów. Skuteczność usuwania azotu i fosforu w systemie 2-stopniowym (mechaniczno-biologicznym) była podobna do uzyskanej w systemie 3-stopniowym z laguną hydroponiczną.
2. W badanym obiekcie powierzchnia laguny hydroponicznej oraz czas retencji ścieków są niewystarczające do zapewnienia wysokiej skuteczności usuwania biogenów.
3. W warunkach klimatu umiarkowanego ilość promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi jest niewystarczająca do skutecznego usuwania biogenów w lagunie hydroponicznej przez cały rok. W okresie od 15 października do 15 kwietnia suma usłonecznienia w ciągu 10 dni poprzedzających wykonywanie badań nie osiągała wartości wymaganej (min. 48,6 h) do usuwania azotanów ze ścieków.
4. Brak statystycznie istotnej korelacji między temperaturą powietrza a skutecznością usuwania N-NO_3 , co może wskazywać, że wzrost temperatury wpływa jedynie na

szybkość przebiegu procesu nitryfikacji, ale nie ma wpływu na pobieranie azotu przez rośliny.

5. W celu zwiększenia intensywności poboru biogenów w lagunie hydroponicznej można zastosować dodatkowe doświetlanie roślin w okresie od połowy października do połowy kwietnia.
6. Stosowanie doświetlania systemu hydroponicznego w porze nocnej pozytywnie wpływa na poprawę skuteczności usuwania azotu ogólnego i amonowego, obniżając ich średnie stężenia w ściekach oczyszczonych.
7. Wyższą skuteczność oczyszczania ścieków uzyskano w systemie zasilanym CO₂, niezależnie od zastosowania doświetlania. Zastosowanie dodatkowego doświetlania ścieków światłem LED powoduje zmiany wielkości cząstek zawiesin w ściekach, co determinuje ich zdolności sedymentacyjne oraz wpływa na możliwości ich usuwania z systemu.
8. Określenie optymalnego momentu usuwania zawiesin z systemu hydroponicznego jest kluczowym zadaniem i wymaga prowadzenia dalszych badań składu granulometrycznego zawiesin, ich zmian w środowisku wodnym oraz składu gatunkowego tworzących je organizmów.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne o charakterze merytorycznym

- gmina Pączków położona jest w południowo-zachodniej części Polski, a nie w południowo-wschodniej – jak podano w na stronie 9 rozprawy doktorskiej. W publikacji nr 1 lokalizację gminy Pączków podano prawidłowo.

- w opisie na stronie 12 podano, że „W artykule *AII* dokonano analizy wpływu usłonecznienia na skuteczność usuwania azotu i fosforu ze ścieków oczyszczanych w lagunie hydroponicznej”. W rzeczywistości praca nr 2 prezentuje analizę wyników badań wpływu usłonecznienia na skuteczność usuwania azotu azotanowego, a nie azotu i fosforu.

- w opisie wyników badań z publikacji nr 1 na stronie 16 brakuje opisu efektywności usuwania fosforu ogólnego oraz azotu azotanowego w badanych układach oczyszczania. Natomiast w publikacji nr 1 wyniki tych badań przedstawiono.

W publikacjach składających się na rozprawę doktorską nie podano, jaka jest efektywność usuwania podstawowych wskaźników zanieczyszczeń (zawiesin ogólnych, BZT₅ i ChZT) w Miejskiej Oczyszczalni Ścieków z laguną hydroponiczną w Paczkowie. Proszę zatem o odpowiedź, czy takie badania były przeprowadzone? Jeśli tak, to jaka jest efektywność usuwania tych wskaźników w II i III stopniowym układzie oczyszczania?

Prace powstałe na bazie otrzymanych wyników badań i składające się na rozprawę doktorską zostały przygotowane prawidłowo, przy zastosowaniu właściwej metodyki badań. Efektem tego była ich publikacja, po przejściu procedury recenzji, w wysoko punktowanych czasopismach z listy A. Wnioski i zalecenia zaprezentowane w cyklu monotematycznych publikacji stanowią istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej ochrona i kształtowanie środowiska. Uwagi krytyczne podane w recenzji nie umniejszają merytorycznej wartości rozprawy doktorskiej, którą oceniam jako bardzo dobre opracowanie naukowe. Tematyka rozprawy przedstawiona przez Doktorantkę jest jak najbardziej aktualna i potrzebna ze względu na konieczność podejmowania działań mających na celu optymalizację funkcjonowania oczyszczalni ścieków w aspekcie realizacji wymagań Ramowej Dyrektywy Wodnej UE.

4. Wniosek końcowy

Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Bawiec jest bardzo cennym opracowaniem, w którym potwierdzono główne tezy pracy i rozwiązano problem naukowy. Doktorantka wykazała się odpowiednim przygotowaniem teoretycznym i praktycznym, znajomością współczesnej literatury dotyczącej tematu pracy oraz umiejętnością planowania i prowadzenia badań. Autorka pokazała, że potrafi właściwie wykonać zamierzone prace eksperymentalne oraz prawidłowo i wnikliwie zinterpretować uzyskane wyniki badań. Tematyka i zakres pracy jest ściśle związany z ważnym problemem społeczno-gospodarczym, który dotyczy zastosowania i efektywności funkcjonowania zbiorowych oczyszczalni ścieków w aspekcie ochrony środowiska i dlatego podjętą problematykę badawczą należy zaliczyć do grupy badań stosowanych.

Biorąc pod uwagę informacje zaprezentowane powyżej stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Bawiec pt. *„Wpływ wybranych czynników środowiskowych na skuteczność usuwania azotu i fosforu ze ścieków oczyszczanych w systemie hydroponicznym”* spełnia warunki obowiązującej ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595). Dlatego wnioskuję o jej przyjęcie jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Aleksandry Bawiec do publicznej obrony przed Radą Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Jednocześnie biorąc pod uwagę jakość rozprawy doktorskiej proponuję jej wyróżnienie.

Wzysław Jónielcowski