

Rzeszów, 04.11.2024 r.

Prof. dr hab. inż. Piotr Koszelnik,
Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury
Katedra Inżynierii i Chemii Środowiska

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Myki-Raduj pt.: „Opracowanie, wdrożenie i analiza funkcjonowania hybrydowej hydrofitowej oczyszczalni ścieków z zamkniętym obiegiem wody na terenie Poleskiego Parku Narodowego”,
napisanej pod promotorstwem prof. dr. hab. inż. Krzysztofa Józwiakowskiego
i promotorstwem pomocniczym dr. Szymona Kolasy

Recenzję niniejszą wykonano zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie o wyznaczeniu recenzentów w przewodzie doktorskim mgr inż. Anny Myki-Raduj, podjętą w dniu 04 października 2024 roku.

Ocena celowości podjętej tematyki

Praca zawiera się w zakresie obszernego działu inżynierii i ochrony środowiska jakim jest technologia ścieków. Ponadto obejmuje swoim zakresem gospodarkę wodną. Tematyka pracy dotyczy problemu zrównoważonego korzystania z wody na potrzeby zabudowy mieszkalnej na terenach chronionych. Problem z okresowymi niedoborami wody w Polsce nabiera szczególnego znaczenia w ostatnich latach. Wszelkie technologie służące ograniczeniu tego problemu są niezwykle cenne, ale szczególnie cenne są rozwiązania umożliwiające ponowne wykorzystanie wody w obiegu wewnątrz jednostkowego gospodarstwa domowego. Doktorantka podjęła się kompleksowego rozwiązania problemu w ramach realizowanej pracy doktorskiej, której najważniejszym elementem było wdrożenie zaplanowanego i zaprojektowanego systemu oczyszczania ścieków metodą hydrofitową z cyrkulacją wody. W kolejnych etapach przeprowadzono badania mające ocenić funkcjonowanie tego systemu. Praca wnosi ważne nowe informacje, szczególnie praktyczne, ale też naukowe.

Ocena formalna i merytoryczna

Przedstawiona do recenzji rozprawa to cykl trzech współautorskich publikacji:

- P1. Myka-Raduj, A., Józwiakowski, K., Siwiec, T., & Raduj, W. (2023). Changes of Water Consumption in a Forester's Lodge in Polesie National Park (Poland)—Case Study. *Water*, 15(17), 3157.
- P2. Myka-Raduj, A., Bohacz, J., Listosz, A., Raduj, W., & Józwiakowski, K. (2024). Efficiency of Operation a Hybrid Constructed Wetland Located in the Polesie National Park (Poland) During the Start-Up Period. *Journal of Ecological Engineering*, 25(6), 292-311.
- P3. Myka-Raduj, A., Siwiec, T., Rybczyńska-Tkaczyk, K., Raduj, W., & Józwiakowski, K. (2024). Efficiency of the installation to treatment of outflow from the hybrid constructed wetland system and possibility of reuse of treated wastewater in the household. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 18(4), 297-312.

Czasopisma w których opublikowano powyższe prace są indeksowane w bazie Scopus i znajdują się na liście czasopism punktowanych, ogłoszonej w 2019 roku na potrzeby ewaluacji dyscyplin naukowych w Polsce, mając odpowiednio 100, 70 i 100 punktów. Udziały doktorantki wynoszą 70% (P1) oraz 60% (P2 i P3). Z oświadczeń współautorów załączonych do dokumentacji wynika, że udział merytoryczny doktorantki w całości prac był istotny. W dokumentacji załączono także łączący i częściowo podsumowujący badania opublikowane we wzmiankowanych czasopismach tzw. przewodnik po tychże publikacjach. W przewodniku zamieszczono rozdział „Wstęp”, gdzie doktorantka podaje, bardzo celnie uzasadnienie podjęcia tematu. Następnie w rozdziale „Problem naukowy/hipotezy i cel badań” podano rozwiązywany problem naukowy w brzmieniu: „konieczność aktywnych działań dla ochrony zasobów wody wpisujących się w założenia gospodarki cyrkulacyjnej wymaga rozwiązania problemu powtórnego wykorzystania oczyszczonych ścieków odpływających z oczyszczalni hydrofitowej do spłukiwania toalet i podlewania roślin”. Na tej podstawie poprawnie sformułowano trzy hipotezy badawcze:

1. Mimo dużych nierównomierności odpływu ścieków bytowych z pojedynczego gospodarstwa domowego zastosowanie hybrydowej hydrofitowej oczyszczalni pozwala na skuteczne ich oczyszczanie do takiego stopnia, że nie wpływają one destrukcyjnie na stan środowiska przyrodniczego,
2. Zastosowanie trójstopniowej filtracji przy wykorzystaniu odpowiednio dobranych filtrów oraz lampy UV pozwala na uzyskanie właściwych parametrów jakościowych ścieków biologicznie oczyszczonych z przeznaczeniem do powtórnego wykorzystania na wybrane cele bytowe.

3. Wykorzystanie zawróconych ścieków oczyszczonych do splukiwania toalety pozwala na obniżenie zużycia wody w gospodarstwie domowym o co najmniej kilkanaście procent w skali roku.

Wskazany jest, także łączący trzy publikacje cyklu cel naukowy jakim jest „analiza funkcjonowania hybrydowej hydrofitowej oczyszczalni ścieków i dostosowanie jej ciągu technologicznego do zamknięcia obiegu wody w osadzie służbowej Poleskiego Parku Narodowego w Kulczynie”, oraz trzy cele cząstkowe będące zarazem osobno celami zawartymi w publikacjach. Są to: (i) Określenie zmian zużycia wody w osadzie służbowej Poleskiego Parku Narodowego w Kulczynie (P1); (ii) Określenie efektywności usuwania zanieczyszczeń ścieków we wdrożonej hybrydowej hydrofitowej oczyszczalni ścieków (P2); (iii) Ocena efektywności funkcjonowania instalacji do doczyszczania ścieków odpływających z wdrożonej oczyszczalni ścieków oraz możliwości ich powtórnego wykorzystania (P3). Zdaniem recenzenta trzy cele szczegółowe w pełni spełniają brzemienne celu ogólnego. Ponadto wskazano cel wdrożeniowy, którym było opracowanie koncepcji i projektu budowy oraz wdrożenie hybrydowej hydrofitowej oczyszczalni ścieków z zamkniętym obiegiem wody.

Każda z publikacji stanowiących cykl zawiera obszerny opis podstaw teoretycznych badanych urządzeń i procesów, co świadczy o opanowaniu przez doktorantkę umiejętności analizy aktualnego stanu wiedzy dla przejętej tematyki i zakresu badań. Praca doktorska realizowana była w ramach systemu doktoratów wdrożeniowych. Zasadniczym elementem badań był projekt i budowa oczyszczalni ścieków dla budynku mieszkalnego przeznaczonego dla pracowników Polskiego Parku Narodowego (PPN). Ten obiekt był głównym polem badań opisanych w ocenianej rozprawie doktorskiej.

Celem badań opisanych w publikacji P1 była analiza zużycia wody w czteroosobowym gospodarstwie domowym położonym we wsi Kulczyn w PPN. Ścieki z budynków odprowadzane do hybrydowego, sztucznego mokradła zintegrowanego z zamkniętym obiegiem wody. W ramach badania określono sezonowe, tygodniowe i dzienne zmiany zużycia wody oraz ilość wody używanej do splukiwania toalet w okresie jednego roku. Wyniki badań przedstawione w tym artykule pokazały, jaka część ścieków wypływających z budynku mieszkalnego może być zwracana do splukiwania toalet, co pozwoli na częściowe zamknięcie obiegu wody w tym obiekcie (20%). W publikacji tej wskazano jednocześnie dalsze kierunki badań, czyli konieczność przeanalizowania efektywności oczyszczania ścieków w hydrofitowym systemie hydrofitowym oraz efektywności oczyszczania ścieków za pomocą różnych filtrów i lamp UV.

W publikacji P2 oceniono wydajność operacyjną hybrydowej oczyszczalni hydrofitowej w pierwszym roku jej użytkowania. Obiekt testowy był wykorzystywany do oczyszczania 0,4 m³/d ścieków odprowadzanych z leśniczówki położonej w PPN. Oczyszczalnia składa się z dwukomorowego osadnika wstępnego zintegrowanego ze stacją pompową oraz układu dwóch złóż – trzcinowego o przepływie pionowym (VF) i wierzbowego o przepływie poziomym (HF). W okresie badawczym wykonano 14 badań testowych, w trakcie których pobrano 56 próbek ścieków do badań fizykochemicznych i mikrobiologicznych. Wyniki wykorzystano do określenia wydajności usuwania zanieczyszczeń przez oczyszczalnię. Skład oczyszczonych ścieków porównano z obowiązującymi w Polsce wymaganiami dla tego typu obiektów. W badaniu uwzględniono również pomiary objętości dopływów i odpływów oraz ilości wody deszczowej dopływającej do oczyszczalni. Wykazano, że opady w każdym miesiącu badań stanowiły od 6 do 34% objętości dopływu. Objętość ścieków odprowadzanych z oczyszczalni w okresie badań była o 11% niższa od objętości ścieków dopływających łącznie z wodą opadową. Stwierdzono, że oczyszczalnia usunęła średnio ponad 90% zawiesiny ogólnej, BZT₅, ChZT, bakterii *E. coli* i enterokoków kałowych ze ścieków. Nieco niższą skuteczność usuwania uzyskano w przypadku azotu ogólnego i fosforu ogólnego (60–74%). Już w okresie rozruchu skład oczyszczonych ścieków odprowadzanych z oczyszczalni spełniał wymagania określone w obowiązujących przepisach prawnych w Polsce. Niniejsze badanie pokazuje, że hybrydowe oczyszczalnie hydrofitowe VF-HF mogą być rekomendowane do stosowania na obszarach chronionych w celu oczyszczania ścieków i ochrony wód przed eutrofizacją.

W publikacji P3 określono efektywności działania nowatorskiej instalacji do oczyszczania odpływu z hybrydowego systemu hydrofitowego oraz możliwości ponownego wykorzystania ścieków bytowych. Analizowana instalacja do oczyszczania ścieków odprowadzanych z hydrofitowego systemu hydrofitowego zlokalizowana jest w piwnicy budynku jednorodzinnego i składa się z układu filtracyjnego obejmującego: filtry przędzalnicze, przędzalnicze i węglowe oraz lampę UV. Z kolei hybrydowy system hydrofitowy, z którego oczyszczone ścieki są zawracane do budynku, składa się z 2-komorowego osadnika wstępnego oraz układu dwóch złóż typu VF-HF z trzciną pospolitą i wierzbą. W okresie badań wykonano 14 serii analiz, w trakcie których oznaczono wartości wybranych wskaźników fizykochemicznych i mikrobiologicznych w pobranych próbkach oczyszczonych ścieków. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że analizowany system zapewniał średnią skuteczność redukcji zawiesiny ogólnej i BZT₅ na poziomie odpowiednio 46,8 i 45,8%. Mniejsze efekty uzyskano w przypadku redukcji ChZT (22,7%), azotu ogólnego (4,9%) i fosforu ogólnego (16,3%). Natomiast średnie efekty redukcji

wskaźników mikrobiologicznych były bardzo wysokie i wynosiły odpowiednio 92,7 i 97,1% dla bakterii *E. coli* i enterokoków. Badanie wykazało, że ścieki wypływające z hybrydowego systemu hydrofitowego po oczyszczeniu w analizowanej instalacji można było ponownie wykorzystać do spłukiwania toalet lub zielonego podlewania, ponieważ zazwyczaj nie zawierały zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Określono, że poddane recyklingowi oczyszczone ścieki mogłyby zastąpić średnio 18,7% dobrej jakości wody dostarczanej z wodociągów sieciowych w badanym gospodarstwie domowym.

Przewodnik zawiera wnioski zebrane z prowadzonych badań. Przedstawiono pięć wniosków ogólnych, mających charakter uniwersalny i naukowy:

1. Typowe współczynniki nierównomierności zalecane do obliczania zużycia wody w całych miejscowościach znacznie się różnią od uzyskanych w analizowanym pojedynczym gospodarstwie domowym.
2. Z przeprowadzonych badań i obserwacji wynika, że wdrożona oczyszczalnia ścieków z zamkniętym obiegiem wody zapewnia wysoką efektywność usuwania zanieczyszczeń. Stężenia zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych z wdrożonej oczyszczalni, już w okresie rozruchu obiektu, odpowiadały wymaganiom zawartym w aktualnie obowiązującym w Polsce akcie prawnym.
3. Instalacja doczyszczająca ścieki oczyszczone, składająca się z szeregowego układu 3 filtrów i lampy UV zapewniała bardzo wysoką efektywność redukcji parametrów mikrobiologicznych, czyli bakterii *Escherichia coli* oraz enterokoków kałowych w ściekach oczyszczonych przeznaczonych do powtórnego wykorzystania na wybrane cele bytowe.
4. Ilość wody zużywanej do spłukiwania toalet stanowi średnio około 20% ogólnej ilości zużywanej wody i można do tego celu wykorzystać ścieki oczyszczone odpływające z hybrydowej hydrofitowej oczyszczalni ścieków.
5. Z badań wynika, że hybrydowe systemy hydrofitowe typu VF-HF z zamkniętym obiegiem wody mogą być rekomendowane do stosowania na obszarach chronionych lub w innych miejscach, gdzie istnieją takie potrzeby.

Zaprezentowano także dziesięć wniosków szczegółowych w większości o naturze informacji i zaleceń praktycznych. Wszystkie wnioski są sformułowane w sposób bardzo rzeczowy i wynikają z przeprowadzonych badań.

Uwagi ogólne i szczegółowe

Doktorantka wykazała się umiejętnością zaprojektowania i przeprowadzenia badań naukowych. W bardzo dobrym stopniu opanowała współczesne narzędzia i techniki badawcze, wykorzystując je do przeprowadzenia kompleksowych analiz w założonym zakresie. Prowadziła badania terenowe i laboratoryjne, których wyniki wykorzystano w procesie analizy wyników.

Proszę doktorantkę o udzielenie kilku informacji dodatkowych:

1. Instalacja lampy UV może podnosić koszty funkcjonowania gospodarstwa domowego. Czy szacowano jaki może być wzrost ilości zużywanej energii elektrycznej? Czy można ten wzrost czymś zrekompensować?
2. System sprawdził się w specyficznym terenie domu wolnostojącego na terenie nizinnym i stosunkowo podmokłym. Czy można tego typu rozwiązania stosować dla zabudowy rozproszonej terenów podgórskich, np. Beskidów?
3. Z czego wynikają istotne różnice współczynników nierównomierności do obliczania zużycia wody pomiędzy danymi typowymi, a uzyskanymi dla badanego systemu?
4. Jaka może być przyczyna stosunkowo niewysokich wartości usuwania N i P w badanym obiekcie w stosunku do innych podobnych obiektów?

Podsumowanie

Uważam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Anny Myki-Raduj pt.: „Opracowanie, wdrożenie i analiza funkcjonowania hybrydowej, hydrofitowej oczyszczalni ścieków z zamkniętym obiegiem wody na terenie Poleskiego Parku Narodowego” prezentuje interesujące i nowatorskie wyniki badań. Jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego, zakończonym wdrożeniem, zaś doktorantka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętnością rozwiązania problemu naukowego i samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Uzyskane rezultaty mają charakter zarówno naukowy jak i praktyczny, wobec tego stanowią dobrą bazę do dalszych działań. Systematyka opisu eksperymentów, analiza i dyskusja wyników oraz wnioskowanie są prawidłowe. Powyżej wyszczególnione uwagi nie obniżają merytorycznej wartości pracy. Stwierdzam zatem, że rozprawa doktorska mgr inż. Anny Myki-Raduj pt.: „Opracowanie, wdrożenie i analiza funkcjonowania hybrydowej, hydrofitowej oczyszczalni ścieków z zamkniętym obiegiem wody na terenie Poleskiego Parku Narodowego”, spełnia wymogi stawiane zwyczajowo i normatywnie pracom doktorskim dlatego też wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Anny Myki-Raduj do dalszych etapów przewodu doktorskiego.