

Dr hab. inż. Jadwiga KRÓLIKOWSKA
Emerytowany prof. PK

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej **Pani mgr inż. Aleksandry MAKAŁA** pt. ***Intensyfikacja procesu sztucznej infiltracji w aspekcie usuwania makro i mikrozanieczyszczeń z wód powierzchniowych***

1. Podstawa formalna recenzji

Recenzję opracowano w związku z pismem Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej z dnia 14.05.2026 r o nr. IWISIE.63.2026.34.

2. Krótka charakterystyka rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska powstała w formie spójnego tematycznie zbioru dziewięciu współautorskich artykułów opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych. Cykl ten spełnia formalne wymagania określone w §13 ust. 1 pkt 1 Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22 lutego 2019 r. Praca ma charakter naukowo-badawczy.

Sumaryczny Impact Factor wg bazy Journal Citation Reports w roku wydania wyniósł 11,679. Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Joanna Jeż-Walkowiak, prof. PP, a promotorem pomocniczym dr inż. Małgorzata Komorowska-Kaufman. Tytuł rozprawy: „*Intensyfikacja procesu sztucznej infiltracji w aspekcie usuwania makro i mikrozanieczyszczeń z wód*” informuje o jej tematyce, która mieści się w problematyce dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Dołączony do pracy autoreferat składa się z wprowadzenia, zakresu i metodyki przeprowadzonych badań, analizy wyników badań, wniosków, listy bibliograficznej, a także streszczenia w języku polskim i języku angielskim. Całość autoreferatu obejmuje 52 strony, w tym 17 tabel i 15 rysunków. Lista bibliograficzna obejmuje 20 pozycji, cytowane źródła są aktualne, przeważający udział cytowanych prac pochodzi z ostatnich lat.

Załącznikiem do rozprawy są kopie dziewięciu powiązanych publikacji naukowych stanowiące osiągnięcie naukowe wraz z oświadczeniami o wkładzie procentowym autorów publikacji. Wkład Doktorantki kształtował się następująco:

Załącznik A1 *Redefiniing the purpose, goals and methods of disinfection in contemporary water supply systems*

Wkład wynosi 20% i obejmuje: przegląd literatury na temat stanu wiedzy, korekty i sformułowanie tekstu

Załącznik A2 *Impact of artificiaial infiltration on removal of surfactants in surface water treatment process*

Wkład wynosi 50% i obejmuje: przegląd literatury na temat przedmiotu badań, zebranie i interpretacja wyników badań, opracowanie metodyki badań, wykonanie analiz i pomiarów, korekty i sformułowanie tekstu

Załącznik A3 *Stabilność chemiczna wody na etapach jej uzdatniania ze szczególnym uwzględnieniem infiltracji. Część 1*

Wkład wynosi 100% i obejmuje: przegląd literatury na temat stanu wiedzy w opracowywanej dziedzinie, zebranie danych pomiarowych, opracowanie metodyki, analiza wyników badań, korekta i sformułowanie finalnego tekstu.

Załącznik A4 *Impact of artificial infiltration on the removal of non-steroidal anti-inflammatory drugs during treatment of surface water*

Wkład wynosi 50% i obejmuje: przegląd literatury na temat stanu przedmiotu badań, wykonanie analiz i pomiarów, zebranie i interpretacja wyników badań, korekta i sformułowanie finalnego tekstu.

Załącznik A5 *Effect of initial treatment of surface water at an artificial infiltration intake* Wkład wynosi 50% i obejmuje: przegląd literatury na temat stanu przedmiotu badań, wykonanie analiz i pomiarów, zebranie i interpretacja wyników badań, opracowanie metodyki, korekta i sformułowanie tekstu.

Załącznik A6 *Stabilność chemiczna wody po procesie infiltracji. Część 2*

Wkład wynosi 60% i obejmuje: przegląd literatury na temat przedmiotu badań, zebranie i interpretacja wyników badań, opracowanie metodyki badań, wykonanie analiz i pomiarów, korekta i sformułowanie tekstu.

Załącznik A7 *Monitoring of Contamination of the Water River in Poznań by Non-Steroidal Anti-Infflammatory Drugs and Antibiotics*

Wkład wynosi 20% i obejmuje: przegląd literatury na temat przedmiotu badań zebranie i interpretacja wyników badań, opracowanie metodyki i wykonanie analiz dotyczących podstawowych parametrów jakości wody.

Załącznik A8 *Influence of artificial infiltration on the removal of surfactants from suface waters*

Wkład wynosi 20% i obejmuje: przegląd literatury na temat przedmiotu badań, zebranie i interpretacja wyników badań, opracowanie metodyki badań, wykonanie analiz i pomiarów, korekta i sformułowanie finalnego tekstu.

Załącznik A9 Warunki hydrogeologiczne ujęcia infiltracyjnego i ich wpływ na efekty usuwania związków organicznych w procesie infiltracji

Wkład wynosi 20% i obejmuje: przegląd literatury w opracowywanej dziedzinie, zebranie danych pomiarowych, opracowanie metodyki, analiza wyników badań, korekta i sformułowanie finalnego tekstu.

3. Ocena celowości podjęcia tematu

Tematyka pracy dotyczy ważnego i aktualnego problemu. Jednym z najważniejszych strategicznych problemów dla rozwoju naszego kraju jest kształtowanie i ochrona zasobów wodnych oraz gospodarowanie wodą. Problemy ilościowe gospodarki wodnej w Polsce związane z występowaniem trwałych lub okresowych deficytów, względnie nadmiarów wody są skutkiem zmienności czasowo-przestrzennej opadów atmosferycznych oraz stanu infrastruktury wodnej. Opady charakteryzują się dużą zmiennością zarówno w okresach wieloletnich, jak i w ciągu roku. Sucha, spękana ziemia oraz wysychające rzeki to już nie regionalne anomalie, a rzeczywistość na dużych obszarach naszego kraju.

Woda w Polsce wciąż traktowana jest jak zasób oczywisty i tani. Tymczasem liczby pokazują coś zupełnie innego: jej niedobór kosztuje gospodarkę miliardy złotych rocznie, podnosi ceny żywności, obciąża budżety samorządów i pośrednio zwiększa rachunki, które płacą mieszkańcy. W 2026 roku problem wody przestaje być kwestią środowiskową – staje się twardym problemem ekonomicznym.

Choć rezerwy zasobów wód podziemnych w Polsce nadal pozostają na poziomie bezpiecznym dla zaopatrzenia ludności w wodę, jednak lokalnie odnotowuje się pogorszenie sytuacji związane z obniżeniem poziomu wód podziemnych. Jednak prawdziwym zagrożeniem dla zasobów wody pitnej nie jest jej ilość, a jakość. Wszelkie zanieczyszczenia z powierzchni terenu, nieoczyszczone ścieki, związane z nadmiernym stosowaniem nawozów, czy nielegalnymi składowiskami odpadów z czasem przenikają do wód podziemnych. Obecnie szczególnego znaczenia nabiera fakt skażenia wód środkami powierzchniowo czynnymi, farmaceutykami. Niekiedy dopiero po kilkudziesięciu latach okazuje się, że zanieczyszczenie dostało się do wód podziemnych, a usuwanie skutków takiego zdarzenia jest wtedy niezwykle trudne i kosztowne.

W dobie zmian klimatycznych i susz, skażenia środowiskowego sztuczne zasilanie warstw wodonośnych jest jedną z najskuteczniejszych i sprawdzonych metod zwiększania oraz ochrony zasobów wód pitnych.

Zasadnym więc jest podjęcie przez **Doktorantkę** badań w zakresie metod projektowania i eksploatacji sztucznej infiltracji z wykorzystaniem uwarunkowań hydrologicznych, warunków eksploatacyjnych stawu oraz jakości wody powierzchniowej.

4. Zakres i merytoryczna ocena rozprawy

Za główny cel rozprawy **mgr inż. Aleksandra MAKALA** postawiła sobie określenie parametrów i czynników decydujących o wysokiej efektywności procesu sztucznej infiltracji a zarazem określenie możliwości intensyfikacji zjawisk sprzyjających usuwaniu makro i mikrozanieczyszczeń z ujmowanej wody powierzchniowej.

Coraz częściej w wodach powierzchniowych, gruntowych, a nawet morskich, wykrywa się obecność substancji powierzchniowo czynnych, farmaceutyków, które trafiają do środowiska, a ich głównymi źródłami są ścieki komunalne i przemysłowe. Niektóre z nich ulegają rozkładowi, ale wiele pozostaje w ekosystemie w stanie niezmienionym, zachowując aktywność biologiczną nawet w bardzo niskich stężeniach, stwarzając ryzyko dla organizmów wodnych, a potencjalnie także dla ludzi. Stąd **Doktorantka** widzi potrzebę badań procesu sztucznej infiltracji jako wysokoefektywnego wstępnego oczyszczania wody, formułując następujące tezy:

Teza 1: Proces sztucznej infiltracji posiada właściwości wszystkich trzech podstawowych barier technologicznych realizowanych na różnym poziomie efektywności zwiększając bezpieczeństwo i stabilność całego systemu technologicznego uzdatniania ujmowanej wody powierzchniowej.

Teza 2: Droga infiltracji jest reaktorem fizyczno-chemiczno-biologicznym, którego działanie prowadzi do wysokoefektywnego oczyszczania infiltrującej wody w aspekcie usuwania związków organicznych oraz makro i mikrozanieczyszczeń.

Teza 3: Istnieją czynniki i parametry (dotyczące eksploatacji stawów infiltracyjnych, warunków hydrogeologicznych i jakości wody powierzchniowej) w szczególny sposób wpływające na efekty procesu sztucznej infiltracji, których odpowiedni dobór umożliwia intensyfikację tego procesu.

Zadania badawcze realizowane na terenowej instalacji badawczej zlokalizowanej na działającym ujęciu infiltracyjnym oraz wyniki tych badań, pozwalające na udowodnienie postawionych tez, obrazują publikacje stanowiące podstawę rozprawy doktorskiej.

Punkty pomiarowe i poboru wody zlokalizowano w różnych miejscach i na różnej wysokości terenu badawczego (rzeka Warta, staw infiltracyjny: w części początkowej, środkowej i końcowej, piezometry: PP1, PP2, PP3 oraz studnia lewarowa), co pozwoliło na ocenę efektywności usuwania makro i mikrozanieczyszczeń od parametrów i czynników wpływających na efekty procesu sztucznej infiltracji, których odpowiedni dobór umożliwia intensyfikację tego procesu. Analiza próbek wody z poszczególnych punktów pomiarowych pozwoliła na ocenę zmiany stężeń wybranych zanieczyszczeń w trakcie infiltracji.

Do wyznaczenia parametrów hydrogeologicznych instalacji badawczej posłużył pomiar poziomu zwierciadła i temperatury wody, granulacja warstwy wodonośnej oraz czas retencji wody w gruncie.

Efektywność usuwania makrozanieczyszczeń w procesie sztucznej infiltracji oceniana była na podstawie zmian wartości parametrów fizycznych, chemicznych oraz mikrobiologicznych w punktach pomiarowych (od rzeki Warta po studnię lewarową).

Okres badań podzielono na dwa etapy. Pierwszy to badania wstępne (trwające od stycznia do lipca 2018 r) z poborem próbek z trzech punktów pomiarowych tj. rzeka Warta początek i koniec stawu, natomiast drugi to badania zasadnicze (od października 2018 r do września 2022 r) z poborem próbek z wszystkich tj. 8 punktów pomiarowych.

Analiza mikrobiologiczna wody zasilającej i infiltrującej dotyczyła ogólnej liczby bakterii mezofilnych, psychrofilnych, bakterii grupy coli, *Escherichia coli* oraz paciorkowców kałowych. Pozostałe badania jakości wody dotyczyły analizy zawartości związków organicznych (OWO, CHZT-KMnO₄), żelaza, manganu, barwy, mętności, azotu, fosforu, ortofosforanów, tlenu rozpuszczonego, zasadowości ogólnej oraz wolnego CO₂.

Badanie efektywności usuwania mikrozanieczyszczeń prowadzone na terenowej instalacji badawczej na ujęci infiltracyjnego wody oparto na 25 serii analiz zawartości surfaktantów (anionowych i niejonowych) oraz 11 serii badań zawartości niesteroidowych leków przeciwzapalnych (ketoprofen, ibuprofen, paracetamol, naproksen). Podczas 8 serii analizowano również stężenie antybiotyków (sulfametoksazol, trimetoprim).

W załączniku nr 5 zaprezentowane zostały wyniki badań wstępnego uzdatniania wód powierzchniowych w sztucznym ujęciu infiltracyjnym w zakresie makrozanieczyszczeń. Potwierdzają one, że proces infiltracji poprawia parametry fizykochemiczne i mikrobiologiczne wody, która po procesie infiltracji wykazuje właściwości podobne do wód podziemnych. Szczegółowej analizie poddano zmienność badanych parametrów wraz z warunkami w jakich odbywa się sztuczna infiltracja mające decydujący wpływ na jej skutki.

Efektywność procesu sztucznej infiltracji w usuwanie mikrozanieczyszczeń, interpretacja wyników badań obrazuje seria artykułów (załączniki: A2, A4, A7, A8).

Różnorodność procesów oczyszczających, zachodzących podczas sztucznej infiltracji, pozwala na usuwanie różnych zanieczyszczeń, w tym środków powierzchniowo czynnych i co istotne bez dodatkowych odczynników (załączniki: A2, A8). Jak pokazały wyniki badań głównym procesem odpowiedzialnym za usuwanie surfaktantów anionowych w procesie sztucznej infiltracji była absorpcja natomiast biodegradacja w usuwaniu niejonowych środków powierzchniowo czynnych.

Badania prowadzone były w okresie od stycznia 2019 roku do września 2022 roku, odpowiadającym cykлом eksploatacji stawu, w trzech seriach poboru próbek tj. przed pandemią, początek pandemii i późna faza pandemii, co w sposób oczywisty miało wpływ na średnie stężenie środków powierzchniowo czynnych w stawie infiltracyjnym dla wybranych serii badań. Otrzymane wyniki wskazują na porównywalną skuteczność usuwania obu rodzajów środków powierzchniowo czynnych w procesie infiltracji. Obawę budzą produkty biodegradacji, które mogą być toksyczne ze względu na znaczną aktywność biologiczną, a co za tym idzie zaburzać równowagę hormonalną organizmów, zauważa **Doktorantka**.

Wyniki badań dotyczące usuwania farmaceutyków podczas sztucznej infiltracji zostały zaprezentowane w załącznikach A4 oraz A7. Wynika z nich, że paracetamol był usuwany podczas infiltracji ze średnią roczną skutecznością wynoszącą 42%, natomiast ketoprofen nie był skutecznie usuwany. Pani **mgr inż. Aleksandra MAKALA** wskazuje na potrzebę badań

opartych na biologii molekularnej, które pozwoliłyby sprawdzić obecność mikroorganizmów, w tym bakterii i grzybów, odpowiedzialnych za biodegradację substancji farmaceutycznych obecnych w wodzie infiltracyjnej.

W końcowej części autoreferatu **Doktorantka** przedstawiła wnioski poznawcze i utylitarne (łącznie 17 wniosków), które potwierdzają zasadność postawionych tez.

Reasumując merytoryczną ocenę rozprawy stwierdzam, że Pani **mgr inż. Aleksandra MAKALA** zaplanowała i przeprowadziła, uczestniczyła w pracochłonnych i bardzo trudnych w realizacji badaniach, które mają zarówno charakter naukowy, poznawczy jak i utylitarny. Przedstawiony do oceny cykl publikacji stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej został przygotowany w sposób bardzo profesjonalny. Autorzy wprowadzają czytelnika w tematykę aby następnie przedstawić cel, metodykę badań. Analiza wyników prowadzona jest z wielką starannością od strony merytorycznej jak i pod względem sposobu prezentacji wyników.

Całość wywodu naukowego, właściwe wnioski wyciągane z otrzymywanych wyników świadczą o wielkim zaangażowaniu w badania naukowe i szeroką wiedzę **Doktorantki**, biorąc pod uwagę etap rozwoju naukowego Pani **mgr inż. Aleksandry MAKALA**. Liczba cytowanych prac świadczy o dobrym rozeznanie w tematyce, która wymaga podejścia holistycznego. Sumaryczny Impact Factor wg bazy Journal Citation Reports w roku wydania, uwzględniając wkład **Doktorantki** wyniósł 4,07. Znaczący jest również czynny udział w konferencjach (3 poster, 2 wygłoszone referaty).

Pani **mgr inż. Aleksandra MAKALA** wykazała się dobrą znajomością metod badań, obejmujących badania terenowe oraz w szerokim zakresie badania laboratoryjne.

Należy podkreślić istotność podjętego tematu mając na względzie rosnące z roku na rok problemy ilościowe i jakościowe w obszarze gospodarki wodnej w Polsce. Stale rosnąca tendencja wzrostu stężenia mikrozanieczyszczeń (związków powierzchniowo czynnych, farmaceutyków) powoduje poważne zagrożenie dla środowiska wodnego.

Recenzowaną dysertację można uplasować w głównym nurcie badań nad bezpieczeństwem systemów zaopatrzenia w wodę, ze szczególnym uwzględnieniem jakości wody z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi i metod w technologii jej uzdatniania.

Od strony językowej i formalnej recenzowaną dysertację doktorską oceniam bardzo dobrze, zarówno pod względem redakcyjnym i lingwistycznym, a także w zakresie stosowania poprawnych zasad dla odsyłaczy bibliograficznych.

5. Uwagi szczegółowe

- W załączniku A2 „*Impact of artificial infiltration on removal of surfactants in surface water treatment process*”, we wnioskach czytamy: Produkty biodegradacji mogą być toksyczne ze względu na znaczną aktywność biologiczną, która zaburza równowagę hormonalną organizmów. Celem przyszłych badań jest jakościowa i ilościowa charakterystyka metabolitów.

Proszę o komentarz czy takie badania już są prowadzone.

- Analizy wykonane metodą LC-OCD próbek pobranych w dniach 2.10.2018 r i 9.07.2019 r wykonano na Uniwersytecie w Waterloo w Kanadzie.

Proszę o wyjaśnienie skąd taki pomysł i jak wyglądał transport próbek

6. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji dysertacja doktorska Pani **mgr inż. Aleksandry MAKALA** pt. „Intensyfikacja procesu sztucznej infiltracji w aspekcie usuwania makro i mikrozanieczyszczeń z wód powierzchniowych” spełnia w moim przekonaniu wymagania stawiane rozprawom doktorskim zawarte w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. 2024 poz. 157 z późn.zm) tj.:

- stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, jakim jest wskazanie czynników i parametrów związanych z eksploatacją stawów infiltracyjnych, warunków hydrogeologicznych i jakości wody powierzchniowej mających szczególny wpływ na efekty procesu sztucznej infiltracji, których odpowiedni dobór umożliwia intensyfikację tego procesu,
- wykazuje wiedzę **Doktorantki** w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, zwłaszcza w zakresie gospodarki wodnej w kontekście bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę, z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi i metod w technologii jej uzdatniania,
- potwierdza umiejętność **Doktorantki** do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Do najważniejszych walorów recenzowanej rozprawy zaliczyć należy:

- ważność i aktualność podjętego tematu, w tym wypełnienie luki badawczej w Polsce w podjętym temacie,
- właściwy dobór metod badawczych,
- rzetelne opracowanie wyników badań,
- precyzyjne redagowanie wniosków.

Podsumowując, stwierdzam Pani **mgr inż. Aleksandra MAKALA** zrealizowała założone cele swojej pracy, udowodniła przeprowadzonymi badaniami postawioną tezę. Na tej podstawie wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki Politechniki Poznańskiej w Poznaniu o dopuszczenie **Doktorantki** do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Osiągnięcia przedstawione w pracy doktorskiej zasługują moim zdaniem na wyróżnienie.

Praca doktorska stanowi wartościowe i oryginalne osiągnięcie w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Na szczególną uwagę zasługuje szeroki zakres badań zrealizowanych w oparciu o dobrze dobraną metodykę pomiarów terenowych i analiz

laboratoryjnych. Podkreślić należy wykorzystanie nowoczesnych metod analitycznych pomiaru zawartości w wodzie mikrozanieczyszczeń oraz zastosowane metody LC-OCD do analizy efektów usuwania poszczególnych frakcji związków organicznych.

Tematyka badawcza jest bardzo aktualna i dotyczy najistotniejszych zagadnień związanych z technologią uzdatniania wody w ujęciu wielostopniowych barier. Doktorantka udowodniła, że proces infiltracji wód powierzchniowych posiada cechy wszystkich trzech barier technologicznych w aspekcie jej potencjału w dochodzeniu do bezpieczeństwa wodnego, odporności, stabilizacji i niezawodności technologicznej procesów uzdatniania realizowanych na stacji uzdatniania wody poprzez wykazanie efektywnego usuwania zanieczyszczeń fizycznych, chemicznych i biologicznych, a także mikrozanieczyszczeń.

Kraków, sierpień 2026 roku.