

dr hab. inż. Jacek Piekarski, prof. PK  
Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji  
Politechnika Koszalińska

ADMINISTRACJA  
Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki

Wpłynęło dnia..... 07 MAJ 2021

Nr..... 1626 ..... szt.....

*Pow. Prof. J. Piekarski*  
*A. ANIELAK*

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Jerzego Cieplińskiego pt.:

**„Analiza wybranych czynników determinujących energochłonność  
średnich sekwencyjnych oczyszczalni ścieków”**

*PROB O PRZEJĘCIE  
SPRAWY*  
DZIEKAN  
Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Politechniki Krakowskiej  
dr hab. inż. Stanisław M. Rybicki, prof. I

### 1. Podstawa formalna recenzji

Recenzję opracowano w związku z pismem Pana dr. hab. inż. Stanisława M. Rybickiego, prof. PK - Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Krakowskiej nr S0-520-148/20. RKP z dnia 27.01.2020 roku oraz na podstawie umowy o dzieło na opracowanie recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jerzego Cieplińskiego.

### 2. Charakterystyka rozprawy

Recenzowaną rozprawę poświęcono zagadnieniom energetyki w gospodarce wodno-ściekowej, w szczególności w aspekcie efektywności energetycznej technologii SBR w małych i średnich oczyszczalniach ścieków w zależności od: przepływu średniodobowego, objętości porcji ścieków kierowanych do reaktorów, redukcji wartości i ładunku wybranych wskaźników (ChZT, BZT<sub>5</sub>, N<sub>og</sub>) oraz temperatury ścieków i otoczenia. Ponadto uwzględniono wpływ praktyki eksploatacyjnej na efektywność energetyczną.

Pracę stanowi tekst rozprawy zawarty w 11. głównych rozdziałach, w łącznej liczbie 130 stron. W rozprawie można wyróżnić w I części teoretycznej: wstęp (rozdział 1) oraz przegląd aktualnego stanu wiedzy odnośnie specyfiki oczyszczania ścieków w małych i średnich jednostkach osadniczych (rozdział 2), charakterystykę reaktorów SBR (rozdział 3), energetykę w gospodarce wodno-ściekowej (rozdział 4) oraz opis wykorzystania energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków (rozdział 5). Następnie dysertacja szczegółowo prezentuje wybrany obiekt badawczy (rozdział 6). II zasadnicza część badawcza przedstawia badania (rozdział 7), a w szczególności wyniki pomiarów (rozdział 8) i analizę wyników (rozdział 9). Zakończenie stanowi podsumowanie (rozdział 10) oraz wnioski (rozdział 11). Ponadto praca zawiera spis

wykresów, tabel i załączników oraz bibliografię.

### 3. Ocena celowości podjęcia tematu

Podjęcie przez Autora tematu rozprawy wydaje się uzasadnione i wynika głównie ze względów użytecznych, odnoszących się do niezwykle istotnego problemu kryzysu energetycznego, który jak najbardziej dotyczy zagadnień technologii wodno-ściekowych. Tego typu badania małych i średnich oczyszczalni opartych o technologię SBR nie były realizowane w sposób kompleksowy, polegający na analizie wpływu wybranych przez Doktoranta parametrów na zużycie energii i efektywność energetyczną oczyszczalni i procesów usuwania zanieczyszczeń w warunkach rzeczywistych.

### 4. Merytoryczna ocena rozprawy

Uwzględniając tezę i sformułowane cele, w pracy omówiono w poszczególnych rozdziałach następujące zagadnienia.

Rozdział 1 zawiera wprowadzenie z którego jasno wynika, że również w Polsce występuje problem energetyczny, dlatego należy dążyć do modernizacji poprzez wprowadzanie nowoczesnych energooszczędnych technologii, a także racjonalne gospodarowanie energią. W konsekwencji Doktorant zwrócił uwagę na energochłonność obiektów gospodarki wodno-ściekowej.

W rozdziale 2 Doktorant dokonał przeglądu literatury, przedstawiając klasyfikację jednostek osadniczych pod względem wielkości (2.1) wskazując na niejednoznaczność spotykanych definicji i przyjmując własny podział. Ponadto zasadnie przedstawił przykład specyfiki małych i średnich jednostek osadniczych w punktu widzenia gospodarki ściekowej w odniesieniu do nierównomierności dopływu. Następnie odniósł się do problemu określania wielkości oczyszczalni (2.2) przyjmując podział na 4. rodzaje, w wyniku czego dokonał charakterystyki małych i średnich oczyszczalni ścieków (2.3) pod względem ogólnej liczebności oraz zastosowanych urządzeń. Słusznie zwrócił uwagę na dobową nierównomierność dopływu ścieków oraz problem ścieków dowożonych w aspekcie stabilności procesów oczyszczania, jak również ograniczony potencjał generacyjny energii elektrycznej takich oczyszczalni. W kolejnym podrozdziale (2.4) Doktorant na podstawie Rozporządzenia Ministra Środowiska z 2014 r. scharakteryzował kryteria określające wymagania formalne jakości ścieków oczyszczonych.

W rozdziale 3 nawiązał do przedmiotu swoich zasadniczych badań przedstawiając szczegółowo w oparciu o dostępną literaturę reaktor sekwencyjny SBR (3.1) w ujęciu histo-

rycznym oraz technologicznym (3.1.1 i 3.1.2). Dodatkowo odniósł się do problemu uciążliwości zapachowej tego typu rozwiązań. Podkreślił, że nowoczesne reaktory typu SBR nadal są urządzeniami wysokoefektywnymi. W kolejnym podrozdziale (3.2) w formie podsumowania odniósł się do parametrów technologicznych, technicznych i ekonomicznych reaktorów sekwencyjnych, popierając przykładem swoje spostrzeżenia.

W rozdziale 4 Doktorant odniósł się do problemu energetyki w gospodarce wodno-ściekowej. Na wstępie wykazał zasadność porównania pod tym względem UE i USA (4.1) w szczególności w aspekcie demograficznym i zapotrzebowania na wodę. Na podstawie danych literaturowych uzasadnił złożoność tego zagadnienia, słusznie zwracając uwagę na problem ekonomiczny i eksploatacyjny podłączania do sieci kanalizacyjnej gospodarstw domowych o utrudnionej lokalizacji, czego skutkiem zarówno w UE jak i USA jest funkcjonowanie dużej liczby niewielkich oczyszczalni ścieków. Zaznaczył i uzasadnił w jaki sposób ilość i jakość ścieków przekłada się na rodzaj zastosowanej technologii i energochłonności ich oczyszczania. W konsekwencji odniósł się do problemu energetycznego gospodarki wodno-ściekowej na świecie (4.2), zwracając uwagę na roczną wielkość zapotrzebowania na energię elektryczną systemu wodno-kanalizacyjnego, i co istotne wzrost zużycia energii w przyszłości oraz brak zbiorczych opracowań zużycia energii oraz efektywności energetycznej w gospodarce wodno-ściekowej UE. Na podstawie analizy danych literaturowych zużycia energii elektrycznej na oczyszczanie ścieków trafnie uzasadnił zaniżone wartości wykazane w UE w porównaniu z USA. W tej sytuacji podjął próbę szacowania zużycia energii elektrycznej w oparciu o objętość oraz ładunek zanieczyszczeń oczyszczanych ścieków w UE. Odpowiednio uzasadnił konieczność realizacji badań oraz ujednoczenia archiwizacji danych w tym temacie w całym zakresie skali. Przy tym zasygnalizował problem niedociążenia hydraulicznego większości oczyszczalni w UE, w tym również oczyszczalni wybranej przez Doktoranta do badań. W konsekwencji w kolejnym podrozdziale (4.3) odniósł się ogólnie do energetycznej analizy gospodarki wodno-ściekowej w Polsce, tym razem zwracając uwagę, że efektywność energetyczna w stosunku do parametrów jakościowych, nie jest parametrem dominującym podczas projektowania oczyszczalni ścieków. Swoje spostrzeżenia poparł między innymi stosowną literaturą z konferencji krajowych dotyczących tego zagadnienia. W przypadku dużych i średnich oczyszczalni pozytywnie ocenił wykorzystanie biogazu w celu redukcji bilansu energetycznego. W konsekwencji przedstawia problemy tego typu rozwiązania w odniesieniu do małych oczyszczalni. Również w tym podrozdziale słusznie stwierdza, że w obecnie nie ma kompatybilnych danych, które umożliwiłyby porównanie sprawności energetycznej obiektów gospodarki ściekowej, po czym przedstawia jeden z celów rozprawy. W kolejnym podrozdziale

(4.4) odniósł się do perspektyw energetycznych w gospodarce wodno-ściekowej. Na podstawie literatury, również tu zasygnalizował w kolejnych latach problem rosnących kosztów energii elektrycznej z uwagi na rozbudowę sieci kanalizacyjnej oraz możliwość unieszkodliwiania innych rodzajów zanieczyszczeń. Biorąc powyższe pod uwagę, Doktorant słusznie stwierdził, że niebawem koniecznością będzie optymalizacja procesów oczyszczania z uwagi na ich efektywność energetyczną, co bezpośrednio przełoży się na koszt oczyszczania ścieków. Na tej podstawie odniósł się do niesprzyjających warunków w Polsce, z uwagi na politykę UE, sposób produkcji energii elektrycznej oraz jakość sieci przesyłowych. Przedstawione argumenty niewątpliwie potwierdzają sens realizacji tego typu badań.

W rozdziale 5 Doktorant przedstawił pobór energii elektrycznej w pojedynczej oczyszczalni ścieków. Po raz kolejny zwrócił uwagę, na brak porównywalnych wyników badań poszczególnych obiektów gospodarki wodno-ściekowej w aspekcie energooszczędności. Na podstawie danych wg EPA sporządził tabelę i wykresy, po czym wyjaśnił strukturę zużycia energii przez oczyszczalnie w USA, wskazując najbardziej energochłonne urządzenia (dmuchawy). Podobną tendencję potwierdził w innych krajach oraz w Polsce. Biorąc powyższe pod uwagę stanowi to uzasadnienie sensu realizacji tego typu badań, pozwalających zmniejszyć zużycie energii elektrycznej. Doktorant w dalszej części rozprawy, na podstawie danych literaturowych uargumentował wybór wskaźników efektywności energetycznej, gdzie przedstawił i zinterpretował spotykane zakresy tych wskaźników w wybranych krajach. Dodatkowo szczegółowo wskazał wady i zalety wybranych wskaźników efektywności energetycznej. Doktorant ponownie zwrócił uwagę na fakt, że w związku ze standardami unijnymi modernizacja oczyszczalni ścieków ma na celu zwiększenie efektywności usuwania zanieczyszczeń, a nie poprawy efektywności energetycznej. Tym samym uzasadnił wybór obiektu do badań jako reprezentatywnego, obciążonego problemami spotykanymi obecnie w większości polskich oczyszczalni.

W konsekwencji w rozdziale 6 Doktorant niezwykle szczegółowo przedstawił przedmiot badań, na wstępie charakteryzując wybraną typową podmiejską gminę, w której zlokalizowana jest przedmiotowa oczyszczalnia, i w której występuje problem ścieków dowożonych (6.1 i 6.2). Następnie przedstawił sytuację społeczno-gospodarczą, ze szczególnym uwzględnieniem między innymi warunków demograficznych, gospodarczych, turystycznych, przyrodniczych i co istotne infrastruktury kanalizacyjnej. Na tej podstawie zaprezentował wybrany obiekt od podstaw, tj. założeń projektowych, poprzez charakterystykę jakościową i ilościową ścieków, układu technologicznego, aż po wykaz opomiarowanych urządzeń.

W rozdziale 7 zatytułowanym szeroko „Badania” Doktorant faktycznie przedstawił metodykę badań, gdzie na wstępie w tzw. opisie badań (7.1) wymienił rozpatrywane zależności

– pomiędzy parametrem zmiennym wynikowym (zużyciem energii), a parametrami zmiennymi niezależnymi, tj.: objętością ścieków dopływających do oczyszczalni, objętością porcji ścieków kierowanych do reaktora, stężeniem i ładunkiem zanieczyszczeń w ściekach, efektywnością procesów oczyszczania, zmianami warunków atmosferycznych oraz zastosowaniem elektrycznej instalacji grzewczej w obiektach oczyszczalni. W tym miejscu Doktorant po raz kolejny podkreślił, że takie badania będą mogły być odniesione do wszystkich oczyszczalni o podobnej lokalizacji i wielkości. Pomiary miały odbywać się w porównywalnych warunkach w dwóch miesiącach letnich i dwóch zimowych. Jednak na skutek niskiej efektywności usuwania azotu ze ścieków oraz niskiej efektywności energetycznej przeprowadzono modyfikację, która niestety wpłynęła na wartości parametru wynikowego. Doktorant w dalszej części dysertacji charakteryzuje metodykę badania jakości ścieków, w podziale na badania zewnętrzne i własne oraz sposób pomiaru zużycia energii elektrycznej, w oparciu o urządzenia firmy Lumel, której wybór wynikał z analizy rozwiązań dostępnych na rynku.

W rozdziale 8 Doktorant zaprezentował wyniki, na wstępie przedstawiając analizę precyzji pomiarów i stabilności pracy mierników (8.1). Niestety jak to zwykle jest w trakcie badań w warunkach rzeczywistych, stwierdził występowanie rozbieżności pomiarowych (ChZT). Niemniej jednak, szczegółowo wytłumaczył mechanizm przyczynowo-skutkowy stwierdzonych odchyłeń pomiarowych. Analizując dokładność pomiarów zużytej energii elektrycznej wymienił, i co wartościowe, potwierdził na podstawie wykonanych badań – czynniki, które wpływały na rejestrowane wartości. Na tej podstawie przyjął trzy etapy pracy reaktora, co finalnie umożliwiło uzyskanie miarodajnych wyników pomiarów. W kolejnym podrozdziale (8.2) Doktorant analizując przepływ dobowy przez rozpatrywaną oczyszczalnię ścieków potwierdził (o czym wspominał wcześniej) pracę w warunkach niedociążenia hydraulicznego oraz przedstawił istniejący problem ścieków dowożonych. W dalszej części pracy (8.3) przedstawił w formie wykresów i opisu wyniki pomiarów zmiany wartości stężenia i ładunku zanieczyszczeń w ściekach surowych wyrażone wskaźnikiem ChZT, BZT<sub>5</sub> i Nog w wybranych dniach 2017 roku. Niedociążenie hydrauliczne przełożyło się na wysokie wartości stężenia przy niedużych ładunkach dobowych zanieczyszczeń. Finalnie wobec zachowanych stosunków BZT<sub>5</sub>/ChZT oraz BZT<sub>5</sub>/Nog stwierdził, że <sup>ChZT od</sup>kompozycja ścieków surowych nie miała decydującego wpływu na zaobserwowaną efektywność usuwania zanieczyszczeń, i co interesujące, odsyła czytelnika do rozdziału 11 (do wniosków). W kolejnym podrozdziale Doktorant przedstawił wyniki pomiarów stężeń zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych, na wstępie zwracając uwagę na problem z porównaniem wyników otrzymanych w ramach badań własnych oraz pochodzących z akredytowanego laboratorium. Słusznie analizował wyniki

w trzech wariantach: (1) biorąc pod uwagę wszystkie dostępne wyniki pomiarów, (2) pomijając okres letni, kiedy reaktory pracowały nieprawidłowo oraz (3) uwzględniając jedynie własne wyniki w podziale na okres zimowy i letni. Również tu zmiany wartości badanych parametrów zmiennych wynikowych w wybranych dniach 2017 roku wyczerpująco przedstawił w postaci graficznej oraz opisu. Podjął również próbę wyjaśnienia mechanizmu przyczynowo-skutkowego stwierdzonych odchyłeń zaobserwowanych zmian wartości (remont turbin, błędny nadzór latem nad sekwencją procesów). W konsekwencji w kolejnym podrozdziale (8.5) opisał cykl pracy rozpatrywanych reaktorów, ze szczególnym uwzględnieniem stwierdzonych odchyłeń, które spowodowały trudności w formułowaniu wniosków. Szczególnie widoczne były anomalia reaktora nr 4 w okresie letnim. W kolejnym podrozdziale (8.6) Doktorant zaprezentował w sposób graficzny i opisowy wyniki pomiarów zużycia energii elektrycznej. Na wstępie odniósł się do pomiarów głównego licznika energii całej oczyszczalni. Wskazał między innymi wartości ekstremalne oraz ich przyczynę. Minimalne zużycie energii wystąpiło w okresie letnim. Na podstawie badań reaktorów 3 i 4 w oparciu o własną sieć pomiarową, Doktorant stwierdził brak korelacji pomiędzy zużyciem energii, a datą pomiaru w okresie zimowym i letnim. Kolejny podrozdział (8.7) również dotyczy pomiaru energii elektrycznej rozpatrywanych reaktorów w szczególności w oczyszczaniu pojedynczych porcji ścieków. Doktorant w postaci tabelarycznej przedstawił wyniki pomiarów uwzględniając wartości odbiegające od normy, które słusznie zostały pominięte w dalszych analizach. Wykonał podstawowe obliczenia statystyczne, na podstawie których stwierdził stabilne funkcjonowanie reaktorów podczas fazy aktywnej w odniesieniu do wielkości porcji ścieków i zużycia energii elektrycznej. Różnice objętości porcji w reaktorze 4 w lecie i zimie miały istotny wpływ na wielkość miar rozproszenia w ujęciu całorocznym.

W rozdziale 9 Doktorant przedstawił analizę otrzymanych wyników. Na wstępie w podrozdziale (9.1) pt. „Zakres badań i analiz” przypomniał rozpatrywane parametry zmienne niezależne oraz wynikowe. Następnie zaprezentował w formie graficznej i opisał ogólny rozkład zużycia energii elektrycznej w badanej oczyszczalni w 2017 r, zwracając uwagę na istotną różnicę otrzymanych pomiarów w stosunku do danych literaturowych energii zużywanej przez dmuchawy układu stabilizacji tlenowej osadu. Doktorant poprawnie uzasadnił przyczynę stwierdzonych rozbieżności. W dalszym podrozdziale (9.3) analizował oczyszczalnię i reaktory pod względem efektywności energetycznej. W pierwszej kolejności (9.3.1) rozważył zależność pomiędzy całkowitym zużyciem energii elektrycznej i dobowym przepływem ścieków przez oczyszczalnię. Na podstawie badań wnioskował brak zależności funkcyjnej pomiędzy rozpatrywanymi parametrami. W dalszej części w podrozdziale (9.3.2) analizował

efektywność energetyczną w zależności od przepływu dobowego ścieków przez oczyszczalnię ( $e_Q$  [kWh/m<sup>3</sup>]). Stwierdzoną zależność opisał funkcją wykładniczą, dodatkowo przedstawił podstawowe statystyki, na podstawie których stwierdził występowanie dużo niższej efektywności w badanym obiekcie w porównaniu do danych literaturowych zarówno polskich jak i światowych. Zwrócił uwagę, na występowanie również innych zmiennych (reżim pracy reaktorów, efektywność procesów oczyszczania) wpływających na skuteczność energetyczną oczyszczalni. W konsekwencji dotychczasowych analiz, w dalszej części (9.3.3) rozpatrywał istnienie związku pomiędzy dobowym zużyciem energii elektrycznej przez oczyszczalnię i wielkością usuwanych ładunków zanieczyszczeń. Jednak wyniki badań nie potwierdziły istnienia takiej relacji. Doktorant kolejną część dysertacji poświęcił analizie zużycia energii elektrycznej, a wielkością usuwanych ładunków zanieczyszczeń w skali reaktora. Wyniki badań również w tym przypadku nie potwierdziły istnienia funkcyjnej zależności, a co interesujące zasygnalizowały występowanie problemów eksploatacyjnych. W wyniku wcześniej stwierdzonego minimalnego zużycia energii w okresie letnim, Doktorant w kolejnych podrozdziałach (9.3.5 i 9.3.6) wykonał analizy dobowego zużycia energii elektrycznej całej oczyszczalni, jak również samych reaktorów w zależności od temperatury otoczenia i ścieków. Również i te wyniki nie potwierdziły występowania istotnych zależności. Doktorant dodatkowo wykonał badania zużycia energii elektrycznej na potrzeby socjalne w okresie zimowym. Analiza wyników potwierdziła jedynie minimalny wpływ ogrzewania na zużycie energii w skali całej oczyszczalni. W związku z powyższym Doktorant na podstawie dotychczasowych analiz słusznie stwierdził brak istotnego wpływu czynników technologicznych na efektywność energetyczną rozpatrywanej oczyszczalni ścieków. W dalszej części dysertacji (9.4) Doktorant podszedł do problemu od strony techniczno-eksploatacyjnej poprzez analizę efektywności energetycznej procesów oczyszczania. Na wstępie zdefiniował fazę aktywną pracy reaktora oraz przedstawił anormalne scenariusze pracy urządzeń. Następnie (9.4.1) analizował wpływ objętości porcji ścieków na zużycie energii elektrycznej w okresie zimowym i letnim. Miarodajne wyniki uzyskał na podstawie pomiarów zużycia energii reaktora 4 i Ciągu Technologicznego nr 2 (CT2). Zależności wystarczająco opisał równaniami liniowymi, o dużych wartościach współczynnika dopasowania. Uzasadnił różnice pomiędzy wynikami pomiarów w okresie zimowym i letnim, finalnie twierdząc że zbyt mało wpływały na zużycie energii elektrycznej w porównaniu z objętością porcji oczyszczanych ścieków. W kolejnym podrozdziale (9.4.2) analizował wpływ redukcji wartości stężenia oraz ładunku wybranych wskaźników zanieczyszczeń ścieków na efektywność energetyczną rozpatrywanych procesów. Przed-

stawił obszernie wady i zalety wpływu wielkości porcji ścieków na wartość wskaźnika efektywności, finalnie udowadniając, że w warunkach eksploatacyjnych bardziej miarodajnym parametrem jest efektywność energetyczna usuwania ładunku zanieczyszczeń. W następstwie w kolejnych podrozdziałach analizował zużycie energii elektrycznej w fazie aktywnej w zależności od wartości usuniętego ładunku zanieczyszczeń wyrażonego wybranymi wskaźnikami zanieczyszczeń. Z uwagi na duży rozrzut punktów pomiarowych w odniesieniu do wskaźnika ChZT i brak możliwości zastosowania zapisu funkcyjnego, Doktorant słusznie zdecydował się wybrać 6. skrajnych wartości, które następnie poddał szczegółowej analizie, wskazując istotne czynniki mające wpływ za zużycie energii elektrycznej w reaktorze nr 3. Proporcjonalne zależności uzyskał również w przypadku reaktora nr 4, dla którego zużycie energii elektrycznej było większe w zależności od objętości porcji ścieków. Podobną tendencję wykazał rozpatrując cały ciąg technologiczny nr 2 (CT2), składający się z rozpatrywanych wcześniej reaktorów. Na podstawie przedstawionych wyników badań wykazał zasadność stosowania wskaźnika efektywności energetycznej usuwania ładunku zanieczyszczeń, w tym przypadku z grupy ChZT ( $e_L$ ). W kolejnym rozdziale (9.4.4) poddał analizie wpływ wielkości usuniętego ładunku zanieczyszczeń BZT<sub>5</sub> na wartość zużycia energii elektrycznej. Tu jednak potraktował BZT<sub>5</sub> jako wskaźnik pomocniczy, gdyż jak słusznie konkludował energia zużywana na usunięcie BZT<sub>5</sub> zawiera się w energii zużywanej na usuwanie zanieczyszczeń z grupy ChZT i Nog. W konsekwencji wcześniejszych analiz w podrozdziale (9.4.5) Doktorant zbadał wpływ wielkości usuniętego ładunku zanieczyszczeń wyrażonego wskaźnikiem Nog na wartość zużycia energii elektrycznej. Na wstępie opisał problemy w ocenie wpływu usuwania azotu ze ścieków na zużycie energii, w szczególności dotyczyło to reaktora nr 3. Wzorem poprzednich analiz zdecydował się na wybór 4. reprezentatywnych punktów pomiarowych, na podstawie których zbadał efektywność energetyczną reaktora w zależności od efektywności usuwania azotu. Na tej podstawie słusznie stwierdził, że w tym przypadku efektywność energetyczna istotnie zależy od wielkości ładunku w ściekach surowych oraz od efektywności procesów usuwania zanieczyszczeń wyrażonych rozpatrywanym wskaźnikiem. Z uwagi na problemy eksploatacyjne Doktorant zrezygnował ze szczegółowych analiz reaktora nr 4, co również znalazło swoje odzwierciedlenie w analizie ciągu technologicznego nr 2. Pomimo tych niedogodności analiza jednoznacznie potwierdziła wzrost efektywności energetycznej w miarę wzrostu wydajności procesów usuwania azotu ze ścieków. W dalszej części pracy na podstawie dotychczasowych badań trafnie zaobserwował, że wpływ porcji ścieków (ujęcie ilościowe) lub wielkości ładunku usuniętego (podejście jakościowe) na wartość wskaźnika efektywności energetycznej najlepiej opisuje funkcyjna wykładnicza. Swoje spostrzeżenia poparł przykładem oraz odniósł się do



sytuacji ekstremalnych, w których rozważana zależność przybiera inną formę. Dlatego w kolejnym podrozdziale (9.4.6) analizował efektywność energetyczną w ujęciu ilościowym w rozpatrywanym czasie badań. Na podstawie wyników badań opracował wykres i przedstawił podstawowe statystyki rozpatrywanych urządzeń w odniesieniu do serii letniej oraz zimowej. Doktorant ponownie potwierdził, że jednym z głównych czynników decydujących o efektywności energetycznej jest wielkość porcji ścieków poddanych oczyszczaniu. W konsekwencji w kolejnym podrozdziale (9.4.7) rozpatrywał efektywność energetyczną w ujęciu jakościowym w oparciu o wybrane wskaźniki zanieczyszczeń. Parametrem zmiennym niezależnym był czas. Doktorant potwierdził podobny zakres zmienności wskaźników ChZT, BZT<sub>5</sub> oraz Nog w zależności od rozpatrywanego parametru zmiennego niezależnego. Również i w tym przypadku Doktorant odniósł się do wahań wartości wskaźnika efektywności energetycznej, które wystąpiły w okresie letnim i stabilnej wartości w zimie. Na podstawie wyników badań sporządził wykresy i przedstawił podstawowe statystyki. Porównał efektywność energetyczną usuwanych zanieczyszczeń wyrażoną wskaźnikami ChZT oraz Nog, równocześnie zwracając uwagę na złożoność tego problemu. W podsumowaniu trafnie stwierdził, że w wyniku poprawnego sterowania procesami usuwania zanieczyszczeń można w sposób istotny poprawić ich efektywność energetyczną. Ponadto celnie sprecyzował czynniki ekonomiczne i technologiczne wpływające na efektywność energetyczną oraz przedstawił rozwiązania techniczne i technologiczne wpływające na poprawę bilansu energetycznego. Doktorant analizując wyniki badań (9.5) stwierdził, że reaktory zużywają w ciągu doby energię elektryczną w ilości 3-krotnie większej, aniżeli na procesy usuwania wszystkich zanieczyszczeń ze ścieków. Dalsza analiza problemu pozwoliła Doktorantowi wykazać nieprawidłowości w eksploatacji urządzeń (dmuchaw), w wyniku czego reaktory w okresie letnim zużywały znacznie więcej energii w fazie pasywnej niż w aktywnej. Korekta pracy reaktorów wyeliminowała ten problem, czego wynikiem była stabilna praca w okresie zimowym. Doktorant na tej podstawie dodatkowo dowiódł, że na efektywność energetyczną niewątpliwie wpływa kwalifikacja obsługi oczyszczalni ścieków.

W podsumowaniu (rozdział 10) Doktorant powtórnie podkreślił, że wyniki badań otrzymane w wybranej oczyszczalni ścieków są miarodajne i mogą być wykorzystane w szerszej skali. Zwraca uwagę na nieprzewidywalność sytuacji w trakcie badań na obiektach rzeczywistych, dlatego też konsekwentnie zużycie energii oraz efektywność energetyczną rozpatruje w aspekcie naukowym (10.1) i techniczno-eksploatacyjnym (10.2). Na wstępie przedstawił skomplikowane relacje pomiędzy zużyciem energii, a efektywnością energetyczną. Następnie słusznie potwierdził brak możliwości stworzenia prostego zapisu funkcyjnego, który zapewniłby zmniejszenie zapotrzebowania na energię przy wzroście wydajności procesów

usuwania zanieczyszczeń w rozpatrywanych obiektach. Doktorant słusznie zauważył, że rozwiązaniem tego problemu może być rozbudowa systemu pomiarowego i układów sterujących, co niestety w skali rozpatrywanej oczyszczalni jest zbyt kosztowe. W dalszej części podsumowania Doktorant potwierdził wpływ analizowanych czynników na efektywność energetyczną procesów oczyszczania. Analiza wyników badań potwierdziła, że objętość porcji ścieków wpływa na zużycie energii elektrycznej oraz co istotne w miarę obniżania objętości porcji ścieków wzrasta wpływ innych czynników, tj. stężenia zanieczyszczeń oraz wydajności usuwania zanieczyszczeń ze ścieków. Jednak jak wykazały badania zależność pomiędzy wielkością ładunku usuniętego, a zużyciem energii w warunkach rzeczywistych jest stosunkowo niewielka w odniesieniu do innych czynników. Analiza wyników badań umożliwiła potwierdzenie proporcjonalnej zależności pomiędzy wydajnością procesów usuwania zanieczyszczeń, a ich efektywnością energetyczną. Dodatkowo analiza wyników badań w wybranym przez Doktoranta obiekcie jednoznacznie nie potwierdziła wpływu temperatury otoczenia oraz ścieków na rozpatrywaną efektywność energetyczną. Doktorant podsumowując zużycie energii elektrycznej oraz efektywność energetyczną badanego obiektu w aspekcie techniczno-eksploatacyjnym (10.3) słusznie zwrócił uwagę na problem optymalizacji małych oczyszczalni w związku ze zmiennością warunków ich pracy. Jednak jak udowodniły wyniki badań istnieje możliwość takiej zmiany warunków pracy, przy której wzrasta stabilność procesów usuwania zanieczyszczeń ze ścieków oraz ich efektywność energetyczna. Z uwagi na występujące w trakcie badań nieprawidłowości pracy wybranej oczyszczalni ścieków w kolejnej części podsumowania Doktorant odniósł się do najistotniejszych anomalii (remont turbin, zbyt długie napowietrzanie osadu czynnego, awaria sondy tlenowej) i ich wpływu na pracę obiektu i wyniki pomiarów (10.4), a w szczególności trudności z ich interpretacją. W następstwie w kolejnym podrozdziale (10.5) w oparciu o własne doświadczenia oraz dane literaturowe przedstawił zalecenia badawcze, które pozwolą porównać wyniki badań w aspekcie oceny efektywności energetycznej procesów usuwania zanieczyszczeń ze ścieków. Dodatkowo Doktorant wskazał szereg ogólnych (nie wynikających w części bezpośrednio z badań) działań eksploatacyjnych skutkujących poprawą efektywności energetycznej (10.6).

W ostatnim rozdziale (rozdział 10) Doktorant przedstawił precyzyjnie w punktach wnioski bezpośrednio wynikające z przeprowadzonej analizy wyników pomiarów.

W ocenie recenzenta Doktorant podjął się wykonania wielu czasochłonnych i trudnych metodycznie badań w warunkach rzeczywistych. Przeprowadzone eksperymenty oraz dokonana weryfikacja uzyskanych wyników w oparciu o literaturę, pozwoliły Doktorantowi na wyciągnięcie właściwych wniosków końcowych (rozdział 10), które przedstawił precyzyjnie

w punktach. W konsekwencji można stwierdzić, że rezultaty badań i wynikające z nich wnioski szczegółowe, zaprezentowane w podsumowaniu, w pełni dowodzą słuszności tez przyjętych w niniejszej pracy.

Reasumując merytoryczną ocenę rozprawy stwierdzam, że Pan mgr. inż. Jerzy Ciepliński udowodnił istnienie czynników które determinują energochłonność średnich sekwencyjnych oczyszczalni ścieków w zakresie sformułowanym w tezie rozprawy.

Zarysowane cele pracy zostały zrealizowane. Podejście do tematyki, znajomość metod badawczych świadczą o osiągnięciu przez Doktoranta poziomu dojrzałości naukowej i uzasadniają postawienie wniosku o opanowaniu umiejętności samodzielnego rozwiązywania problemów naukowych. Ponadto Doktorant wykazał, że korzystając z wiedzy teoretycznej w dyscyplinie badań jest zdolny do samodzielnej pracy naukowej, o czym świadczy rozwiązanie szeregu zagadnień związanych z pomiarem oraz analizą czynników, które warunkują zużycie energii elektrycznej średnich sekwencyjnych oczyszczalni ścieków.

Podczas czytania i analizowania treści rozprawy nasunęły się uwagi redakcyjne oraz dyskusyjne, które nie wpływają na obniżenie wartości merytorycznej rozprawy. Wybrane uwagi przedstawiam poniżej:

- W rozprawie znajdują się błędy interpunkcyjne, które nie mają znaczącego wpływu na pozytywną ocenę pracy.
- Do wartości policzalnych lepiej nie stosować słowa „ilość” – np. „...ilość energii zużywanej ...” – lepiej zastosować „... wartość energii zużywanej ...” – str. 36.
- W spisie ważniejszych skrótów brak np. wskaźników efektywności energetycznej.
- Brak jednolitej formy przedstawiania jednostek rozpatrywanych wskaźników – np. na str. 79 -  $\text{mgO}_2/\text{l}$ , a na str. 69 –  $\text{mg O}_2/\text{l}$ . Uwaga dotycząca spacji dotyczy również innych jednostek.
- Błędny odnośnik do rysunku 8-10 – str. 73.
- Błędny odnośnik do rozdziału – jest „szerzej rozdział 9.3”, a powinno być rozdział 9.4 – str. 95.
- Błędny odnośnik do rysunku – jest „... na wykresie 29 ...”, a powinno być „... na rys. 9-11 ...” – str. 97.
- Brak jednolitej konstrukcji wykresów – tzn. niektóre wykresy zawierają poprawny opis osi Y (np. rys. 8-10 na str. 74), a niektóre zawierają tylko jednostkę (np. rys. 9-4, rys. 9-5 na str. 89).
- Brak źródła wykresu przedstawionego na rys. 5-1 – str. 34.

- Ułamki dziesiętne zapisujemy przy pomocy cyfr i przecinka a nie kropki – str. 105.
- Wskaźnik nie może zawierać się w przedziale. To wartość wskaźnika zawiera się np. w przedziale – np. str. 114.
- Na podstawie wykresu przedstawionego na rys. 9-23 wartość wskaźnika efektywności energetycznej procesów oczyszczania eQ\_SBR3 zawierała się w przedziale 0,52-0,42 kWh/m<sup>3</sup>, a nie 0,55-0,42 kWh/m<sup>3</sup> – str. 114.
- Brak w tekście odnośników do wykresów przedstawionych na rys. 9-27÷9-30 – str. 121 i 122.
- Jednostką zmiennej x jest m<sup>3</sup>/d, a nie m<sup>3</sup> – str. 84.
- Rozdział 5 ma tylko jeden podrozdział. W takiej sytuacji można zrezygnować z tytułu podrozdziału.
- Z czego wynikają różnice wartości analizowanych wskaźników zanieczyszczeń ścieków wynikające z badań własnych i akredytowanego laboratorium – rys. 8-8 ÷ 8-10 – str. 72÷74 ?
- Zmienną x jest data. W jaki sposób wprowadzić zmienną x do równania przedstawionego na rys. 8-8 – str. 77 ?
- Wystąpił problem zaokrągleń wartości np. współczynnik dopasowania R<sup>2</sup> do 4 miejsca – 0,9879, współczynnik korelacji kWh-m<sup>3</sup> do 4 miejsca – 0,0864 – str. 84 lub współczynników funkcji np. na rysunku 9.15 – str. 104.
- Zbyt duże odległości w tekście pomiędzy odnośnikiem do rysunku i rysunkiem – np. odnośnik do rysunku 9-14 jest na str. 101, a rysunek znajduje się na str. 103. Czytelniej jest gdy rysunek jest jak najbliżej miejsca w tekście w którym jest wywołany.
- Na str. 101 Doktorant pisze, że równania o wartości R<sup>2</sup> bliskiej zeru nie będą przedmiotem dalszych rozważań, natomiast na str. 108 równania te są cytowane i analizowane.
- Wystąpiło powtórzenie na str. 105 – „Należy zaznaczyć ... energii elektrycznej.” – w 3. i 5. akapicie od góry.

## 5. Wniosek

Przedstawiona przez Pana mgr. inż. Jerzego Cieplińskiego rozprawa doktorska pt.: „Analiza wybranych czynników determinujących energochłonność średnich sekwencyjnych oczyszczalni ścieków” – spełnia wymagania art. 11 Ustawy z dnia 12 września 1990 roku „O tytule naukowym i stopniach naukowych” w związku z art. 51 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie

sztuki”. Wobec tego wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony oraz wyróżnieniu recenzowanej dysertacji.



Koszalin, kwiecień 2020 roku