

Gdańsk, 29 czerwca 2020 r.

Prof. dr hab. inż. Jacek Mąkinia
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Inżynierii Sanitarnej

ADMINISTRACJA
Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki
Wpłynęło dnia. 08 LIP. 2020
Nr. 852 szt.

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Jerzego Cieplińskiego
pt. „Analiza wybranych czynników determinujących energochłonność
średnich, sekwencyjnych oczyszczalni ścieków”

przygotowanej pod opieką dr hab. inż. Stanisława M. Rybickiego, prof. PK.

1. Podstawa opracowania recenzji

Formalną podstawą recenzji jest Uchwała Rady Naukowej Inżynierii Środowiska i Energetyki im. Tadeusza Kościuszki z dn. 22.01.2020 r., przekazana mi w piśmie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki, dr. hab. inż. Stanisława M. Rybickiego, prof. PK, z dn. 27.01.2020 r.

2. Ocena formalna rozprawy i celowości podjęcia tematu badawczego

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska jest opracowaniem obejmującym 143 strony maszynopisu. Całość jest podzielona na 11 rozdziałów, w których umieszczono 33 tabele i 55 rysunków. Taki układ pracy, chociaż dosyć przejrzysty, jest odmienny od konwencjonalnego układu rozpraw doktorskich, którego zasadniczymi elementami są: wstęp/część teoretyczna/metodyka badań/wyniki i ich dyskusja/wnioski. Integralną część opracowania stanowi 8 załączników, zapisanych na płycie CD, zawierających szczegółowe zestawienie danych operacyjnych dotyczących ilości i jakości oczyszczanych ścieków, czasu i trybu pracy reaktorów, a także zużycia energii w badanym obiekcie.

Pod względem redakcyjnym praca została przygotowana w miarę starannie. Napisana jest jednak niezbyt komunikatywnie, bez poszanowania zasad interpunkcji. W tekście pojawiają się też sformułowania, które odbiegają od norm przyjętych dla języka technicznego. Spis literatury obejmuje ponad 200 pozycji, z czego znaczną część stanowią zagraniczne prace z ostatnich pięciu lat, opublikowane w renomowanych czasopismach recenzowanych.

Główny cel rozprawy, będący odzwierciedleniem tytułu, został sformułowany bardzo ogólnie jako „wieloaspektowe poszerzenie wiedzy z zakresu energetyki w gospodarce wodno-ściekowej, ze szczególnym uwzględnieniem efektywności energetycznej nowoczesnych reaktorów typu SBR, używanych w małych i średnich oczyszczalniach ścieków” (str. 9). Dodatkowym celem było „zweryfikowanie rzeczywistej efektywności energetycznej współczesnych obiektów małej i średniej wielkości z uwzględnieniem wpływu praktyki eksploatacyjnej na końcową efektywność obiektu” (str. 10). Z treści rozprawy wynika, że Kandydat skoncentrował się na analizie czynników mających wpływ na energochłonność wybranej oczyszczalni ścieków, której najważniejszym elementem są tzw. reaktory sekwencyjne (ang. Sequencing Batch Reactors (SBR)).

Kandydat założył, że wnioski z przeprowadzonych badań zostaną uogólnione dla małych i średnich oczyszczalni, opartych o technologię SBR, obsługujących typowe gminy w obrębie obszarów aglomeracyjnych. Takie podejście wydaje się uzasadnione z uwagi na to, że wielkość obiektu jest zbliżona do wartości granicznej dla małych i średnich oczyszczalni (15 000 RLM), zgodnie z przyjętą przez Kandydata klasyfikacją (str. 12).

W Polsce, na szczeblu gmin, oczyszczalnie ścieków należą do najbardziej energochłonnych obiektów. W wielu przypadkach możliwe jest osiągnięcie znaczącego zmniejszenia zużycia energii przy utrzymaniu, czy nawet poprawie, efektywności usuwania zanieczyszczeń. Podjęta przez Kandydata tematyka badawcza jest więc bardzo aktualna w aspekcie zastosowań praktycznych. Przez dziesięciolecia, praca komunalnych oczyszczalni ścieków skupiała się na skutecznym usuwaniu zanieczyszczeń w celu ochrony zdrowia publicznego i środowiska wodnego. Jednak w ostatnich latach zaobserwowano rosnącą tendencję w zakresie zapotrzebowania na energię, zużycia zasobów i kosztów operacyjnych. Wiązano to ze zwiększającą się ilością powstających ścieków wskutek wzrostu populacji, a także wdrażaniem bardziej energochłonnych procesów w odpowiedzi na coraz bardziej rygorystyczne wymagania dot. jakości oczyszczanych ścieków. Na podjęcie działań zmierzających do poprawy bilansu energetycznego w oczyszczalniach ścieków mają też wpływ inne czynniki, m.in. polityka ukierunkowana na odzysk energii (tzw. gospodarka o obiegu zamkniętym), a także podnoszone nowe aspekty środowiskowe (np. emisja gazów cieplarnianych) i idące za tym nowe kryteria oceny (np. ślad węglowy). W tzw. zrównoważonych (ang. „sustainable”) układach oczyszczania ścieków powinna być zachowana równowaga pomiędzy efektywnością usuwania zanieczyszczeń (przede wszystkim związków biogenych), poprawą bilansu energetycznego i ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych. Osiągnięcie stanu energetycznie neutralnej (pasywnej) oczyszczalni ścieków staje się istotnym wyzwaniem technologiczno-eksploatacyjnym. Efekt ten można uzyskać w wyniku zintegrowanych działań, obejmujących zarówno zmniejszenie zużycia energii, jak również jej odzysk ze ścieków i produkcję. Na obiektach małych i średnich, w odróżnieniu od dużych oczyszczalni, zwykle nie stosuje się fermentacji beztlenowej jako procesu unieszkodliwiania osadów ściekowych. Nie ma więc możliwości

odzysku energii w formie biogazu, co mogłoby istotnie poprawić bilans energetyczny oczyszczalni ścieków. Kandydat słusznie zwrócił uwagę (patrz: Wnioski), że dążenie do neutralności tego typu obiektów nie jest możliwe bez „racjonalizacji/optymalizacji” zużycia energii elektrycznej. Możliwości produkcji energii elektrycznej z innych niż biogaz odnawialnych źródeł energii są ograniczone, m.in. ze względu na niewielką dostępną przestrzeń do instalacji farm fotowoltaicznych, co również trafnie zauważył Kandydat w rozprawie.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Ocenię poddano przede wszystkim zakres i oryginalność uwzględnionej tematyki, a także sposób przedstawienia istotnych treści (część teoretyczna), warsztat badawczy (metodyka badań), umiejętność analizy i interpretowania danych (wyniki badań i ich dyskusja) oraz umiejętność wnioskowania (wnioski).

CZĘŚĆ TEORETYCZNA. Ta część rozprawy obejmuje rozdziały, ponumerowane od 2 do 5, w których obszernie omówiono szereg zagadnień technologicznych i energetycznych w oczyszczalniach ścieków, w tym:

- specyfikę oczyszczania ścieków w małych i średnich oczyszczalniach ścieków,
- zasadę działania i parametry technologiczne reaktorów sekwencyjnych,
- stan gospodarki wodno-ściekowej, z uwzględnieniem aspektów energetycznych, w Unii Europejskiej, USA oraz w Polsce,
- strukturę zużycia energii elektrycznej w oczyszczalniach ścieków w różnych krajach,
- rodzaje wskaźników ekonomicznych oraz wskaźników efektywności energetycznej w oczyszczalniach.

We wstępie, Kandydat stwierdził, że „przeprowadzono szeroko zakrojone studia literaturowe, których celem było stworzenie kompleksowej i przejrzystej oceny obecnego stanu wiedzy” (str. 9). Zawartość części teoretycznej potwierdza nie tylko dostateczną znajomość stanu obecnego, ale również kierunków prowadzonych badań oraz definicji stosowanych w odniesieniu do aspektów energetycznych w oczyszczalniach ścieków. Dowodzi też oryginalności ujęcia tematu na tle innych prac.

Po zapoznaniu się z tą częścią rozprawy mam jednak kilka uwag krytycznych. Po pierwsze, niektóre fragmenty są niepotrzebnie rozbudowane, gdyż zawierają treści ogólnie dostępne (np. Tabele 2.1-2.2 z Rozporządzenia Ministra Środowiska z 2014 r. w rozdziale 2.4) lub nie mające bezpośredniego związku z tematyką pracy (np. rozdział 2.1 „Klasyfikacja wielkościowa jednostek osadniczych” str. 11-12). Z drugiej strony, istotne zagadnienia potraktowano ogólnikowo. Uwaga ta dotyczy w szczególności podrozdziału 3.1.2 „Wysokoefektywne warianty technologii SBR stosowane współcześnie”, którego opis zajmuje

jedynie ok. 1,5 strony. Moim zdaniem, w tym miejscu ewidentnie zabrakło tabeli zbiorczej, zawierającej charakterystykę takich obiektów w oparciu o dostępne dane literaturowe.

Po drugie, w rozdziałach omawiających energetyczne aspekty gospodarki wodno-ściekowej na świecie (4.2) oraz w Polsce (4.3) zabrakło kilku istotnych informacji. Kandydat słusznie zwrócił uwagę na europejski projekt „Enerwater”, omawiając jego założenia i najważniejsze wyniki. Szkoda jednak, że pominął inne projekty o zasięgu europejskim, tematycznie związane z zagadnieniami efektywności energetycznej oczyszczalni, np. „Powerstep” (www.powerstep.eu) czy też IWAMA (www.iwama.eu). W odniesieniu do Polski, warty wzmianki byłby cykl konferencji „Efektywność energetyczna w przedsiębiorstwach wod.-kan.”, organizowanych od 2016 r. przez firmę Abrys. Niezbyt dogłębny jest też przegląd wskaźników efektywności energetycznej komunalnych oczyszczalni ścieków.

Po trzecie, Tabele 5-3 oraz 5-4 są jednym z najważniejszych elementów części teoretycznej, gdyż zawierają zestawienie wskaźników efektywności energetycznej w różnych krajach. Należy docenić to, że Kandydatowi udało się zebrać stosowne informacje z tak wielu źródeł. Mógłby to być bardzo cenny materiał do analizy porównawczej, o czym zresztą wspomina sam Kandydat na str. 38. Jednak interpretacja wyników w tabelach nie jest łatwa. Brak jest przypisanych pozycji literaturowych w odniesieniu do poszczególnych krajów. Nie wiadomo, jaka była liczba badanych obiektów w poszczególnych krajach, wielkość tych obiektów i stosowane technologie (np. czy uwzględniały usuwanie związków biogenych). Nie wiadomo też, jak należy rozumieć pojedyncze wartości, a jak zakresy, w kolumnie „średnia”. Zabrakło informacji o metodyce wyznaczania tych współczynników. Czy analizowane było rzeczywiste zużycie energii, czy też zużycie netto (tzn. po odjęciu energii odzyskanej i produkowanej w oczyszczalni)? Na usprawiedliwienie Kandydata można dodać, że tak szczegółowe informacje, chociaż istotne z punktu widzenia bilansu energetycznego, są rzadko podawane wraz z wartościami współczynników (dotyczy to również poniższej informacji).

Na świecie, jednostkowe zużycie energii elektrycznej do oczyszczenia każdego metra sześciennego ścieków kształtuje się w przedziale od 0,25 do ponad 1 kWh/m³. W Polsce, wskaźnik ten waha się w podobnych granicach, tj. 0,2-1,5 kWh/m³, dla różnorodnych układów technologicznych o różnej wielkości (Wójtowicz i wsp., 2013) (Wójtowicz A., Jędrzejewski C., Bieniowski M., Darul H. (2013) Modelowe rozwiązania w gospodarce osadowej. Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie”). Chociaż wskaźnik ten jest stosowany powszechnie z uwagi na łatwość wyznaczenia, to jednak posiada jedną zasadniczą wadę, którą jest brak uwzględnienia dopływającego ładunku zanieczyszczeń. Dlatego też, pojawiają się też propozycje innych wskaźników zużycia energii, obliczanych w oparciu o wielkość ładunku w dopływie lub usuniętego (wyznaczanego głównie w odniesieniu do ChZT). Kandydat odniósł się do nich w części teoretycznej i wykorzystał w swoich badaniach.

Najbardziej złożonym parametrem, o którym warto wspomnieć, chociaż nie został uwzględniony w rozprawie, jest zużycie energii w przeliczeniu na ilość zużywanego tlenu

w bioreaktorze (kWh/kg O₂). Wskaźnik ten jest obliczany w oparciu aż o 12 wielkości wejściowych, w tym m.in. ładunek usuwanego azotu (Rettig i wsp. (2018) www.iwama.eu). W rozprawie, Kandydat potraktował ten ładunek osobno i ocenił jego przydatność do wyliczenia wskaźnika zużycia energii.

METODYKA BADAŃ. Przesłanki, którymi Kandydat kierował się przy wyborze obiektu, są przedstawione na str. 9. Jednak niezbyt jasno uzasadnił koncepcję przeprowadzenia badań na jednym, dość nietypowym obiekcie, w stosunkowo krótkim okresie czasu. Tak ograniczona baza empiryczna sprowadza analizę do specyficznych warunków w badanym obiekcie, zwiększa niepewność uzyskanych wyników, a także uniemożliwia analizę porównawczą i znalezienie czynników wpływających na efektywność energetyczną oczyszczalni w szerszym ujęciu.

W rozprawie docenić należy natomiast przeprowadzenie badań w warunkach eksploatacyjnych na obiekcie w skali technicznej, uwzględniając wszystkie potencjalne problemy eksploatacyjne i organizacyjne, które mogą pojawić się w trakcie badań. Tego typu badania, chociaż obarczone większą niepewnością, mają zwykle większe znaczenie praktyczne niż badania laboratoryjne.

Badania zaplanowano w ten sposób, aby znaleźć zależności pomiędzy zużyciem energii a szeregiem parametrów technologicznych, w tym objętością oczyszczanych ścieków, ładunkiem zanieczyszczeń, efektywnością procesów oczyszczania, zmiennością warunków atmosferycznych i stosowaniem elektrycznych instalacji grzewczych w budynkach. W dalszej części rozprawy Kandydat przeanalizował występujące anomalie w trakcie okresu pomiarowego (niestabilność efektywności procesów oczyszczania, specyficzny tryb pracy reaktorów, awarie sond tlenowych, itp.) (str. 127-128). Słusznie też zauważył, że *„specyfika badań prowadzonych na obiektach pełnoskalowych wymusza przyjmowanie pewnych założeń”* (str. 86).

Podobnie jak część teoretyczna, również metodyka badań zawiera opisy, które nie wnoszą istotnych treści dla całej rozprawy. Uwaga ta dotyczy w szczególności rozdziału 6.3. (Analiza społeczno-gospodarcza obszaru obsługiwanego przez oczyszczalnię na tle regionu) oraz podrozdziału 6.4.2. (Założenia projektowe).

WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA. Na podstawie dostępnych danych eksploatacyjnych i pomiarów własnych, Kandydat przeanalizował w pierwszej kolejności wpływ wybranego czynnika na zużycie energii zarówno w całej oczyszczalni, jak i dwóch badanych reaktorach. Najważniejsze wyniki badań zostały czytelnie przedstawione w formie tabelarycznej i graficznej. Jednak uzyskane wyniki nie zawsze są jednoznaczne, a ich obszerny opis w niektórych miejscach nie do końca pozwalał zrozumieć zamysł Kandydata. Na przykład, Kandydat stwierdził, że *„istnieje proporcjonalna zależność pomiędzy wielkością porcji ścieków*

surowych przetwarzanych przez reaktor, a zużyciem energii elektrycznej przez dany reaktor” (str. 97). Jednak dla SBR3 obliczony współczynnik determinacji R^2 wyniósł 0,04, tak, że sam Kandydat przyznał, że w tym przypadku taka zależność nie występuje (lub jest bardzo słaba). Nie rozumiem więc dalszego wyjaśnienia, że „*obserwowany brak zależności jest jedynie pozorny*”.

Dla SBR4 badana liniowa zależność była już wyraźna ($R^2 = 0,84$). W podsumowaniu (str. 124), Kandydat stwierdził, że w przypadku tego reaktora dominujący wpływ na zużycie energii miała wielkość porcji ścieków i zależność ta została opisane równaniem liniowym. Dlatego też niejasne jest stwierdzenie, które pojawia się w dalszej części, że „*nie można zatem mówić o zależności liniowej, a określenie dokładnej natury omawianej zależności wymaga dalszych badań*”.

Moim zdaniem, Kandydat niepotrzebnie wprowadził nowy wskaźnik zużycia energii w przeliczeniu na porcję oczyszczanych ścieków [kWh/porcja]. Jest on trudniejszy do interpretacji i porównania niż zużycie energii w przeliczeniu na m^3 oczyszczanych ścieków [kWh/ m^3]. Pomiędzy tymi wskaźnikami istnieje ścisła zależność, co zresztą Kandydat pokazał na Rys. 9-12 i 9.13 (zużycie energii na dwóch osiach y – [kWh/porcja] i [kWh/ m^3] – w zależności od wielkości porcji [m^3 /porcja]).

Analizując wpływ innych czynników, Kandydat zaobserwował przeciwne zależności dla obu badanych reaktorów w odniesieniu do usuniętego ładunku azotu ogólnego (gdy współczynnik korelacji wynosił -0,68 dla SBR3 oraz 0,54 dla SBR4) oraz temperatury ścieków (gdy współczynnik korelacji wynosił 0,44 dla SBR3 oraz -0,36 dla SBR4). Należy podkreślić, że analiza obejmowała okres, kiedy efektywność procesu usuwania azotu uległa wyraźnemu pogorszeniu (Rys. 8-10). Nie do końca można więc zgodzić się ze stwierdzeniem, że „*wybrana niewielka próba nie ma negatywnego wpływu na jakość wysuwanych wniosków*”.

Uwagi szczegółowe dotyczące wyników badań:

- 1) Rysunek 8-10 przedstawia zmienność stopnia redukcji i stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych (uwaga: na osi y podano błędnie ChZT). Stwierdzenie, że „*w okresie zimowym efektywność usuwania azotu wyraźnie wzrosła*” (str. 73) jest niezbyt fortunne. Nastąpiło raczej wyraźne obniżenie efektywności usuwania z uzasadnionych przyczyn, które Kandydat wymienia na str. 74. Czy w związku z tym, wyniki dla tego okresu można uznać za miarodajne dla określenia zużycia energii (Rys. 8-11, 8-12, 8-13)? Kandydat tylko ogólnie stwierdza, że „*wykluczono większość okresów awarii, remontów, nienormalnej pracy jednego lub więcej systemów*” (str. 78)
- 2) W Tabeli 8.5 (str. 76) pojawiają się fazy cyklu pracy reaktorów jako: defosfatacja, nityfikacja, denityfikacja. Defosfatacja jest procesem dwufazowym i przebiega w warunkach beztlenowych/tlenowych (anoksydacyjnych). Z kolei nityfikacja i denityfikacja mogą przebiegać w trakcie jednej fazy (tzw. symultaniczna nityfikacja i denityfikacja).

W związku z tym, sugerowałbym nazwanie faz odpowiednio jako: beztlenowa, tlenowa, anoksydacyjna (niedotleniona).

- 3) Rys. 8-11 (str. 77) przedstawia zmienność dobowego zużycia energii w badanej oczyszczalni, co Kandydat próbował opisać równaniem wielomianu stopnia 2. Jednak zmiany sezonowe lepiej odzwierciedla równanie cosinusoidy (sinusoidy). Czy Kandydat rozważał zastosowanie takiej funkcji i jaki byłby współczynnik determinacji (R^2) w tym przypadku?
- 4) Na niektórych rysunkach i w tabelach występują nieprawidłowe jednostki. Rys. 8-11 (str. 77), 8-12 i 8-13 (str. 79), Rys. 9.2 (str. 85), Rys. 9.3 (str. 87) – jednostką na osi y powinna być [kWh/d] (zamiast kWh), jeżeli mowa jest o dobowym zużyciu energii. Kandydat wspomina o tym na str. 86. Z kolei w Tabeli 8.7 (str. 81), zużycie energii powinno być wyrażone jako [kWh/porcja], podobnie jak w poprzedniej tabeli (Tabela 8.6).
- 5) Niepoprawne jest stwierdzenie, że zależność pomiędzy zużyciem energii przez reaktory a średnią dobową temperaturą otoczenia jest niezwykle słaba lub występuje jej całkowity brak (str. 92). Wartości współczynnika korelacji na poziomie 0,36-0,37 sugerują raczej przeciętną korelację.
- 6) Niepotrzebnie, moim zdaniem, zużycie energii w odniesieniu do usuniętych ładunków zanieczyszczeń organicznych (ChZT, BZT₅) oraz azotu ogólnego przedstawiono na jednym rysunku (Rys. 9-3). Utrudnia to analizę wyników dla poszczególnych wskaźników.
- 7) W Tabeli 9-4 i na Rys. 9-7 oraz w Tabeli 9-5 i na Rys. 9-9 nie ma zgodności pomiędzy współczynnikiem korelacji (tabela) i współczynnikiem determinacji (rysunki).
- 8) Mniej istotne uwagi redakcyjne zostały bezpośrednio przekazane Kandydatowi.

WNIOSKI. Kandydat sformułował 14 wniosków, które w większości potwierdzają zrealizowanie celu badań oraz zawierają istotne implikacje, wynikające z przeprowadzonych badań. Jednak niektóre wnioski nie są jednoznacznie sprecyzowane i nie układają się w sposób logiczny. Na przykład, Kandydat stwierdził, że istnieje proporcjonalna zależność pomiędzy wielkością porcji ścieków [m^3] a zużyciem energii elektrycznej [kWh] (wniosek 2). Choć wielkość porcji ścieków ma bezpośredni wpływ na dopływający ładunek zanieczyszczeń, co słusznie zauważył Kandydat, to wniosek 3 sugeruje istnienie słabej zależności pomiędzy wielkością usuniętego ładunku zanieczyszczeń, **w tym azotu**, a zużyciem energii elektrycznej.

Nie potwierdzają tego kolejne wnioski (9 i 10), dotyczące procesu usuwania azotu, które jednak nie wynikają wprost z przeprowadzonych badań. Kandydat stwierdził mianowicie, że konwencjonalny proces nityfikacji-denitryfikacji (dlaczego denitryfikacji?) jest najbardziej energochłonnym procesem we współczesnych oczyszczalniach ścieków

(wniosek 9) oraz że należy przeprowadzić racjonalizację/ optymalizację procesu pod kątem usuwania azotu (wniosek 10).

4. Osiągnięcia badawcze

Rozprawa stanowi oryginalny i nowatorski wkład Kandydata w poznanie czynników mających wpływ na efektywność energetyczną średnich i małych oczyszczalni ścieków. Do najważniejszych osiągnięć badawczych, zawartych w rozprawie, można zaliczyć:

- ocenę przydatności wybranych wskaźników energetycznych w oczyszczalniach ścieków,
- zaprojektowanie i utworzenie sieci pomiarowej zużycia energii w wybranej oczyszczalni ścieków, a następnie zebranie danych empirycznych w warunkach eksploatacyjnych,
- określenie zależności matematycznych pomiędzy zużyciem energii a wybranymi parametrami technologicznymi/ czynnikami środowiskowymi,
- wykazanie rozbieżności pomiędzy efektywnością energetyczną obiektów (oczyszczalni ścieków) a samymi procesami oczyszczania ścieków.

5. Uwagi i sugestie o charakterze dyskusyjnym

Po zapoznaniu się z rozprawą i analizie jej treści, mam kilka uwag oraz sugestii dotyczących przeprowadzonych badań i sformułowanych wniosków. Ponieważ kwestie te mają charakter dyskusyjny, proponuję, aby stały się one przedmiotem dyskusji w trakcie publicznej obrony rozprawy.

- 1). Ślad węglowy stanowi całkowitą sumę emisji gazów cieplarnianych wywołanych bezpośrednio lub pośrednio procesami oczyszczania ścieków. Kandydat nie podjął tego tematu w rozprawie, chociaż kilkakrotnie wspomina o nim. W streszczeniu można znaleźć stwierdzenie, że *„konieczność ograniczenia emisji będzie dotyczyć wszystkich gałęzi gospodarki, w tym również infrastruktury miejskiej, a co z tym związane także gospodarki wodno-ściekowej”*. W rozdziale 1.1. (Wprowadzenie) jest ogólnie mowa o zmniejszeniu **„polskiego śladu węglowego”** w odniesieniu do rozwoju gospodarczego w powiązaniu z dbałością o środowisko naturalne. Kandydat konkluduje też, że *„przy rosnącej presji międzynarodowej na rzecz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, niezbędna będzie racjonalizacja zużycia energii elektrycznej również przez małe i średnie oczyszczalnie”*.

Czy istnieje więc zależność pomiędzy śladem węglowym a efektywnością energetyczną oczyszczalni ścieków? Jeżeli tak, to jaka?

- 2). Na str. 126 Kandydat bardzo ogólnie omawia zagadnienia racjonalizacji i optymalizacji, wspominając o wzajemnych zależnościach, a także trudnościach w sformułowaniu i rozwiązaniu klasycznego zadania optymalizacyjnego. Wymienia dwa rodzaje optymalizacji - technologiczną i energetyczną. Jak należałoby właściwie sformułować

zadanie optymalizacyjne w obu przypadkach, tj. zgodnie z tzw. zasadą największego efektu (optymalizacja technologiczna) lub zgodnie z tzw. zasadą oszczędności środków (optymalizacja energetyczna)? Czy rzeczywiście optymalizacja technologiczna może być podjęta po optymalizacji energetycznej, co proponuje Kandydat (str. 126)?

- 3). Reaktory sekwencyjne (SBR) mają swoją specyfikę i nie są powszechnie stosowane w praktyce. Czy jest więc uzasadnione przenoszenie wyników badań na znacznie częściej stosowane układy o przepływie ciągłym? Jakie są podobieństwa i różnice pomiędzy tymi typami reaktorów w odniesieniu do zużycia energii?
- 4). W trakcie badań Kandydat zaobserwował odmienne zależności (wzrost lub spadek) zużycia energii w reaktorach w zależności od temperatury ścieków. Który trend wydaje się być zgodny z teorią – wzrost czy spadek zużycia energii wraz ze wzrostem temperatury?

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Jerzego Cieplińskiego pt. „*Analiza wybranych czynników determinujących energochłonność średnich, sekwencyjnych oczyszczalni ścieków*” zawiera elementy oryginalnego rozwiązania problemu naukowego i potwierdza umiejętność pracy badawczej Kandydata. Potwierdza też Jego ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. W moim przekonaniu, rozprawa spełnia więc wymagania wskazane w art. 187 ustawy z dn. 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 z późn. zm.).

Dlatego też, wnioskuję o przyjęcie rozprawy przez Radę Naukową Inżynierii Środowiska i Energetyki im. Tadeusza Kościuszki i dopuszczenie Pana mgr. inż. Jerzego Cieplińskiego do dalszych etapów postępowania kwalifikacyjnego o nadanie stopnia doktora.

