

---

dr hab. inż. Łukasz AMANOWICZ

Poznań, dn. 21 sierpnia 2023 r.

Politechnika Poznańska

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych

ul. Berdychowo 4, 61-131 Poznań

e-mail: lukasz.amanowicz@put.poznan.pl

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Beaty Piotrowskiej**

pt. *„Badania odzysku ciepła odpadowego  
w instalacjach kanalizacyjnych obiektów mieszkalnych”*

### 1. Podstawa opracowania

Podstawę formalną do opracowania przedmiotowej recenzji jest Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, z dnia 12.07.2023 r. powołująca recenzentów przedmiotowej rozprawy doktorskiej.

### 2. Podstawowe informacje, struktura pracy

**Podstawowe informacje na temat pracy:**

**Temat rozprawy:** Badania odzysku ciepła odpadowego w instalacjach kanalizacyjnych obiektów mieszkalnych.

**Autor:** mgr inż. Beata Piotrowska.

**Promotor:** prof. dr hab. inż. Daniel Słyś.

**Promotor pomocniczy:** dr inż. Kamil Pochwat.

**Przedmiotowa rozprawa doktorska** liczy 321 stron i zawiera 32 tabele, 68 rysunków i 72 załączniki zawierające tabele i wykresy. W pracy cytowanych jest 141 pozycji literaturowych, w tym książki, artykuły z krajowych i zagranicznych czasopism naukowych, akty prawne i normy, strony internetowe oraz raporty.

---

**Praca składa się z następujących rozdziałów:**

1. Wprowadzenie
2. Cel, zakres i tezy pracy
3. Przegląd literatury i uzasadnienie podjęcia tematu pracy
4. Teoretyczne podstawy wymiany ciepła
5. Konfiguracje instalacji przygotowania c.w.u. z odzyskiem ciepła
6. Efektywność odbioru energii zdeponowanej w ściekach
7. Efektywność finansowa odzysku ciepła odpadowego
8. Rzeczywisty model badawczy
9. Charakterystyka czynnika modelu badawczego
10. Plan badań
11. Wyniki badań doświadczalnych w zakresie oceny efektywności temperaturowej pionowych wymienników ciepła
12. Wyniki badań doświadczalnych w zakresie efektywności energetycznej odzysku energii cieplnej w instalacji kanalizacji i przygotowania c.w.u.
13. Analiza efektywności finansowej systemu odzysku ciepła odpadowego w budynku mieszkalnym – przypadek studyjny
14. Podsumowanie i wnioski końcowe
15. Proponowane kierunki dalszych badań
16. Bibliografia

**W rozdziale 1. Wprowadzenie** opisano tło tematyki poruszanej w rozprawie doktorskiej. Są nim zmiany klimatyczne, za które odpowiedzialna jest działalność człowieka, w szczególności emisja gazów cieplarnianych. Tematyka przedmiotowej rozprawy wpisuje się w trend poszukiwaniu możliwości zmniejszania emisji gazów cieplarnianych poprzez zmniejszanie energochłonności sektora budownictwa za sprawą stosowania systemów do odzyskiwania ciepła odpadowego ze ścieków.

**W rozdziale 2. Cel, zakres i tezy pracy** przedstawiono cel i zakres rozprawy oraz sformułowano tezy pracy.

**W rozdziale 3. Przegląd literatury i uzasadnienie podjęcia tematu pracy** zaprezentowano dotychczasowe krajowe i zagraniczne wyniki badań z zakresu odzyskiwania ciepła ze ścieków, zwracając uwagę na potencjał energetyczny ścieków. Przedstawiono również przykłady aplikacji różnego typu systemów odzyskiwania ciepła ze ścieków. **Dobór literatury oceniam za poprawny oraz adekwatny do tematyki. W pracy powołano się zarówno na pozycje krajowe, jak i zagraniczne, wykorzystano wiedzę i doświadczenie dostępne za pośrednictwem światowych baz literatury.**



---

**W rozdziale 4. Teoretyczne podstawy wymiany ciepła** zaprezentowano podstawowe wzory i mechanizmy związane z przepływem ciepła.

**W rozdziale 5. Konfiguracje instalacji przygotowania c.w.u. z odzyskiem ciepła** zaprezentowano trzy konfiguracje lokalnego/indywidualnego systemu odzyskiwania ciepła ze ścieków możliwe do zrealizowania w budynkach mieszkalnych przy wykorzystaniu wymiennika ciepła typu „rura w rurze”.

**W rozdziale 6. Efektywność odbioru energii zdeponowanej w ściekach** przedstawiono wzory, które umożliwiają obliczenie efektywności cieplnej i temperaturowej procesu odzyskiwania ciepła ze ścieków za pośrednictwem indywidualnych wymienników ciepła typu „rura w rurze”.

**W rozdziale 7. Efektywność finansowa odzysku ciepła odpadowego** przedstawiono procedurę obliczeń na cele analizy ekonomicznej, opartą na metodologii LCC (Life Cycle Cost).

**W rozdziale 8. Rzeczywisty model badawczy** omówiono stanowisko do badań doświadczalnych, którego główną część stanowi model fizyczny instalacji wodociągowej i kanalizacyjnej, który umożliwił odwzorowanie warunków zbliżonych do rzeczywistych w systemach przygotowania c.w.u. i odzysku ciepła ze ścieków szarych w budynkach mieszkalnych. Stanowisko badawcze zostało zlokalizowane w Laboratorium Techniki Pomiarowych i Sterowania Transportem Wody i Ścieków Katedry Infrastruktury i Gospodarki Wodnej Politechniki Rzeszowskiej.

**W rozdziale 9. Charakterystyka czynnikowa modelu badawczego** zdefiniowano zbiory zmiennych wejściowych (niezależnych), zmiennych wyjściowych (zależnych) i parametrów stałych w celu scharakteryzowania obiektu badań.

**W rozdziale 10. Plan badań** przedstawiono program badań doświadczalnych koniecznych do zrealizowania celu pracy.

**W rozdziale 11. Wyniki badań doświadczalnych w zakresie oceny efektywności temperaturowej pionowych wymienników ciepła** przedstawiono wyniki badań doświadczalnych w zakresie efektywności temperaturowej badanych wymienników.

**W rozdziale 12. Wyniki badań doświadczalnych w zakresie efektywności energetycznej odzysku energii cieplnej w instalacji kanalizacji i przygotowania c.w.u.** przedstawiono wyniki badań doświadczalnych, przeprowadzonych przy wykorzystaniu stanowiska pomiarowego umożliwiającego przeprowadzenie pomiarów i wyznaczenie efektywności energetycznej badanych wymienników.

---

**W rozdziale 13. Analiza efektywności finansowej systemu odzysku ciepła odpadowego w budynku mieszkalnym – przypadek studyjny** opisano analizę ekonomiczną systemu odzysku ciepła dla czterech przykładowych konfiguracji systemu.

**W rozdziale 14. Podsumowanie i wnioski końcowe** przedstawiono najważniejsze dokonania pracy oraz wnioski opracowane na podstawie wyników badań doświadczalnych oraz wyników analizy ekonomicznej. **Omówienie wyników badań oceniam jako poprawne – wyciągnięto poprawne i ciekawe wnioski, które znajdują uzasadnienie w wynikach przeprowadzonych badań.**

**W rozdziale 15. Proponowane kierunki dalszych badań** przedstawiono sześć kierunków dalszych badań w zakresie tematyki rozprawy doktorskiej, które przyczyniłyby się do dalszego doskonalenia wiedzy w zakresie objętym tematyką rozprawy.

**Rozdział 16. Bibliografia** stanowi spis literatury, wykorzystanej do realizacji przedmiotowej rozprawy.

### **3. Tezy, cel i znaczenie rozprawy dla dyscypliny naukowej**

Tezy postawione w recenzowanej rozprawie doktorskiej brzmią:

**„1. Odzysk ciepła odpadowego ze ścieków szarych w instalacjach kanalizacyjnych i przygotowania c.w.u. jest zasadny pod względem energetycznym dla każdej z trzech przyjętych w pracy konfiguracji układu hydraulicznego systemu DWHR (Drain Water Heat Recovery).**

**2. Wybór najbardziej korzystnej pod względem energetycznym konfiguracji systemu odzysku ciepła ma charakter indywidualny i wynika z preferencji decydentów dotyczących temperatury i zużycia wody do celów kąpielowych, a także jest uzależniony od projektu instalacji sanitarnych oraz sposobu przygotowania c.w.u. w budynku”.**

**Celem pracy** była „ocena systemu odzysku ciepła odpadowego ze ścieków szarych pod względem energetycznym w aspekcie jego wykorzystania do przygotowywania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) w obiektach mieszkalnych”.

**Cele pośrednie pracy to:**

- zaprojektowanie i wykonanie stanowiska badawczego do badań instalacji przygotowywania c.w.u. i odzysku ciepła ze ścieków w warunkach zbliżonych do rzeczywistych dla szerokiego zakresu zmiennych wejściowych przyjętych w planie badawczym,



- 
- opracowanie modelu obliczeniowego systemu, umożliwiającego wyznaczenie efektywności energetycznej  $\epsilon$  odzysku ciepła odpadowego i instalacji przygotowania c.w.u. dla trzech odmiennych konfiguracji systemu odzysku ciepła odpadowego i instalacji przygotowania c.w.u.

**Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej mieści się w dyscyplinie naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.** Poruszone w pracy zagadnienia dotyczą badań doświadczalnych skuteczności odzysku ciepła ze ścieków. Odzyskiwanie ciepła odpadowego jest w dobie energooszczędności priorytetem. Ograniczanie energochłonności budynków oraz wykorzystanie ciepła odpadowego doskonale wpisują się w obecnie postępujący proces transformacji energetycznej, który widoczny jest we wszystkich gałęziach przemysłu, jak również w budownictwie. Tło recenzowanej rozprawy doktorskiej stanowi dążenie do zmniejszenia energochłonności budynków dzięki wykorzystaniu ciepła odpadowego ze ścieków. Doskonalenie istniejących rozwiązań, a także badania doświadczalne i numeryczne istniejących na rynku innowacyjnych systemów do odzyskiwania ciepła są ważne dla rozwoju dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Z jednej strony dostarczają informacji na temat charakterystyki tych rozwiązań, a także wniosków na temat efektywnych sposobów ich wykorzystywania, a z drugiej strony sprzyjają popularyzacji tych rozwiązań w praktyce, dzięki dostarczeniu rzetelnych wyników badań. **W tym kontekście stwierdzam, że tematyka rozprawy doktorskiej jest istotna z punktu widzenia dyscypliny naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Przedstawione tezy pracy są poprawnie sformułowane i interesujące. Cele pracy mają charakter naukowy i praktyczny, a także są istotne z punktu widzenia dyscypliny.**

## 4. Uwagi do pracy

### 4.1. Uwagi o charakterze merytorycznym – zasadnicze

**Str. 45, wzór (4.23) oraz tab. 10.2.** Chociaż w spisie oznaczeń ciepło właściwie jest opisane właściwą jednostką, to w opisie wzoru (4.23) oraz tabeli 10.2 podano  $J/kg \cdot K$ , co oznacza  $J \cdot K /kg$ . Powinno być:  $J/(kg \cdot K)$ . **Uwaga nie wymaga odpowiedzi.**

**Rozdział 8. Rzeczywisty model badawczy.** W ramach opisu stanowiska pomiarowego przedstawiono schemat oraz zdjęcie stanowiska, a także opisano urządzenia pomiarowe. Opis ten warto by było wzbogacić informacjami na temat dokładności pomiarowej każdego z urządzeń z osobna oraz analizą niepewności pomiaru, jeśli na wartość niepewności wpływały również inne czynniki niż tylko sama dokładność urządzenia pomiarowego. Do budowy stanowiska wykorzystano przepływomierze, dla których musi być spełniony szereg wytycznych producenta odnośnie do ich zabudowy w instalacji czy minimalnego ciśnienia napływu, celem zapewnienia deklarowanej przez producenta dokładności pomiaru. Wytyczne te nie zostały



---

zaprezentowane, ani nie udowodniono, że lokalizacja urządzeń została zaprojektowana w sposób poprawny, aby zapewnić im właściwe warunki pracy. Na schemacie stanowiska pomiarowego nie zaznaczono długości poszczególnych odcinków rur, co uniemożliwia samodzielną weryfikację przez czytelnika długości odcinków rozbiegowych za zaburzeniem przepływu do przepływomierza. Brak tych informacji uniemożliwia również powtórzenie badań przez innych naukowców. Zwracam na to uwagę, ponieważ jednym z wymogów większości czasopism jest rzetelne przedstawienie wyników badań oraz opisanie prowadzonych badań tak, aby mogły one zostać powtórzone przez inny zespół naukowców. Zwracam również uwagę na potrzebę zachowania troski o udokumentowanie prawidłowego montażu, kalibracji i dokładności pomiarowych stosowanych urządzeń pomiarowych, ponieważ jest to jeden z przejawów rzetelności naukowej, którą powinny się cechować prace naukowe. **Uwaga nie wymaga odpowiedzi.**

#### **4.2. Uwagi o charakterze merytorycznym – pozostałe**

**Struktura pracy.** Praca składa się z 16 rozdziałów. Elementy przeglądu literatury można odnaleźć w kilku rozdziałach: 3. Przegląd literatury i uzasadnienie podjęcia tematu pracy, 4. Teoretyczne podstawy wymiany ciepła, 5. Konfiguracje instalacji przygotowania c.w.u. z odzyskiem ciepła, 6. Efektywność odbioru energii zdeponowanej w ściekach. Z tego powodu zasadne by było połączenie tych rozdziałów w jeden, dotyczący przeglądu stanu wiedzy w zakresie objętym tematyką rozprawy. Z kolei elementy związane z budową stanowiska pomiarowego i konfiguracją systemu c.w.u. oraz wyniki badań doświadczalnych można odnaleźć w rozdziałach: 8. Rzeczywisty model badawczy, 9. Charakterystyka czynnikowa modelu badawczego, 10. Plan badań, 11. Wyniki badań doświadczalnych w zakresie oceny efektywności temperaturowej pionowych wymienników ciepła, 12. Wyniki badań doświadczalnych w zakresie efektywności energetycznej odzysku energii cieplnej w instalacji kanalizacji i przygotowania c.w.u. Te rozdziały mogłyby stanowić jeden wspólny rozdział, tym bardziej, że niektóre z nich są bardzo krótkie: np. rozdział 8. liczy 5 stron, rozdział 9. liczy 2 strony, rozdział 10 liczy 5 stron, podczas gdy inne rozdziały są istotnie bardziej obszernie. Połączenie tych rozdziałów w jeden rozdział dotyczący badań doświadczalnych wydaje się uzasadnione również w kontekście uwag z p. 4.1 w zakresie brakujących elementów opisu stanowiska pomiarowego – zbierając wszystkie informacje w jednym rozdziale łatwo by było zauważyć, że pewnych informacji brakuje. Przy połączeniu rozdziałów można by było łatwiej odnaleźć informacje na temat stanowiska pomiarowego i jego elementów, takich jak np. czujniki do pomiaru temperatury Pt500, o których dowiadujemy się dopiero w rozdziale 11, pomimo, że stanowisko pomiarowe zostało zaprezentowane już w rozdziale 8. Z kolei rozdział 4. Teoretyczne podstawy wymiany ciepła wydaje mi się niepotrzebny z punktu widzenia analizy prowadzonej w recenzowanej pracy – co prawda przedstawia podstawowe wzory i mechanizmy związane z przepływem ciepła, jednak nie są one wprost wykorzystywane w dalszej części pracy i stanowią jedynie przekaz podręcznikowej wiedzy. Rozdział 15. jest

---

krótki i mógłby stać się podrozdziałem rozdziału 14. Po wprowadzeniu powyższych sugestii struktura pracy zyskałaby na czytelności i prezentowałaby się w następujący sposób, jasno oddzielając część przeglądową (tło pracy i wyniki badań innych zespołów) od części badawczej i analizy ekonomicznej (które stanowią wartościowy, oryginalny i autorski wkład Doktorantki w rozwój dyscypliny naukowej):

1. Wprowadzenie
2. Cel, zakres i tezy pracy
3. Przegląd stanu wiedzy w zakresie tematyki rozprawy
4. Badania doświadczalne i wyniki
5. Analiza ekonomiczna inwestycji w system odzysku ciepła ze ścieków – przypadek studyjny
6. Podsumowanie, wnioski, kierunki dalszych badań
7. Bibliografia

**Uwaga nie wymaga odpowiedzi.**

**W pracy podano „wartości środkowe charakterystycznych temperatur wody”.** W opisie nie wyjaśniono co jest rozumiane pod tym pojęciem ani dlaczego ta wartość została przyjęta jako reprezentatywna do przedstawienia wyników badań. **Czy mógłbym prosić o komentarz?**

**Streszczenie.** W streszczeniu przedstawiono tło pracy oraz stosowane metody badawcze, a także czytelnie zaprezentowano zakres najważniejszych autorskich dokonań pracy, jeśli chodzi o warsztat badawczy. Uważam, że w streszczeniu mogłoby się znaleźć więcej ilościowych wyników pracy, które podkreśliłyby jej naukowy charakter, a także utwierdziły w przekonaniu, że rozprawa wnosi wartościowy (ilościowy) wkład w rozwój dyscypliny. Warto pamiętać o tym przy pisaniu przyszłych artykułów naukowych. **Uwaga nie wymaga odpowiedzi.**

**Analiza oszczędzonej emisji gazów cieplarnianych.** W pracy przeprowadzono obszerny program badań doświadczalnych oraz wykonano analizę ekonomiczną, która pozwoliła na lepsze porównanie analizowanych struktur systemu odzyskiwania ciepła ze ścieków za pomocą indywidualnych wymienników ciepła typu „rura w rurze”. W ramach opisu motywacji do podjęcia tematu pracy zwrócono uwagę na kryzys klimatyczny i znaczenie emisji gazów cieplarnianych na zmiany klimatu. Krótka i uproszczona (wskaźnikowa) analiza oszczędności emisji gazów cieplarnianych byłaby moim zdaniem doskonałym uzupełnieniem pracy i ostatecznym domknięciem pracy, której motywacją zaczyna się troską o ograniczenie emisji, a kończy się porównaniem analizowanych wariantów pod kątem możliwości emisji gazów cieplarnianych. Jest to uwaga, która może stać się inspiracją podczas pisania przyszłych publikacji naukowych z zakresu tematyki rozprawy. **Uwaga nie wymaga odpowiedzi.**



---

### 4.3. Uwagi o charakterze redakcyjnym

**Streszczenie.** „Model ten umożliwił przeprowadzenie kompleksowych badań symulacyjnych funkcjonowanie instalacji przygotowywania c.w.u. i odzysku ciepła” – powinno być badań symulacyjnych funkcjonowania instalacji. Streszczenie jest jednym z najczęściej czytanych fragmentów każdej pracy i dlatego warto zadbać, aby nie pojawiały się w nim usterki natury językowej oraz aby nie obniżyć swojej wiarygodności w oczach recenzentów przyszłych artykułów naukowych. **Uwaga nie wymaga odpowiedzi.**

**Wprowadzenie.** „... zanieczyszczeń do środowiska i dynamice zmian klimatu” – powinno być zmian klimatu. **Uwaga nie wymaga odpowiedzi.**

**Str. 63.** „Parametry techniczne dwóch pionowych wymienników ciepła typu „rur w rurze” – powinno być „rura w rurze”. **Uwaga nie wymaga odpowiedzi.**

**Str. 73.** W tabeli 11.1 podano „wartości środkowe charakterystycznych temperatur wody”. Temperatura nie ma liczby mnogiej. Powinno być charakterystycznych wartości temperatury wody. **Uwaga nie wymaga odpowiedzi.**

**Bibliografia.** Spis literatury nie posiada numeracji cytowanych prac. Co prawda przyjęty styl odwołań literaturowych nie wymaga wprowadzenia numeracji, jednak zdaniem recenzenta numeracja poprawia czytelność spisu literatury. **Uwaga nie wymaga odpowiedzi.**

## 5. Ocena rozprawy doktorskiej

### 5.1. Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w określonej dyscyplinie albo dyscyplinach

W zakresie przeglądu literatury oraz nakreślając tło przedmiotowej rozprawy doktorskiej, Autorka powołała się na liczne artykuły naukowe, dotyczące zmian klimatycznych, roli człowieka w procesie ich powstawania oraz próbach ograniczania ich wpływu, a także kontroli dynamiki ich zmian. Motywacją do podjęcia tematyki odzysku ciepła ze ścieków była chęć doskonalenia wiedzy na temat tych systemów oraz ich popularyzacji celem ograniczenia emisji gazów cieplarnianych za sprawą zmniejszania energochłonności budynków przy wykorzystaniu ciepła odpadowego. Doktorantka dotarła do ilościowych informacji, pokazujących, że zapotrzebowanie na energię do podgrzewania ciepłej wody użytkowej jest istotnym składnikiem zapotrzebowania na energię w budynkach mieszkalnych, umiejętnie podkreślając wagę tematu i jego znaczeni nie tylko dla dyscypliny, ale również dla ludzkości. W recenzowanej rozprawie przedstawione zostały również informacje na temat różnych struktur systemów podgrzewu c.w.u. oraz instalacji kanalizacyjnych, dla których można



---

zastosować odzyskiwanie ciepła ze ścieków – nie skupiono się wyłącznie na wyizolowanym problemie badawczym, ale pokazano go w szerszym kontekście.

**Biorąc pod uwagę powyższe, oceniana praca doktorska wskazuje na wysoki poziom ogólnej wiedzy teoretycznej osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora.**

## **5.2. Ocena, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora**

Do realizacji celów pracy oraz udowodnienia tez badawczych, Doktorantka zaprojektowała i opomiarowała stanowisko doświadczalne w skali laboratoryjnej. Dla lepszego odzwierciedlenia działania rzeczywistego systemu wyszczególniła kilka struktur systemu, nie ograniczając się do pojedynczego rozwiązania. Dzięki temu uzyskała możliwość dokonania porównania różnych konfiguracji pod względem efektywności temperaturowej odzysku ciepła, ale również efektywności energetycznej. Badania zostały poprawnie zaplanowane i przeprowadzone przy wykorzystaniu odpowiedniego sprzętu pomiarowego. Przeprowadzone zostały badania doświadczalne efektywności temperaturowej  $\varepsilon_T$  dwóch pionowych wymienników ciepła typu „rura w rurze” oraz wykonano analizę efektywności energetycznej  $\varepsilon$  trzech konfiguracji systemu odzysku ciepła odpadowego i instalacji przygotowania c.w.u. dla różnych warunków eksploatacji. Wyniki zostały umiejętnie przedstawione na wykresach i w tabelach. Trafnie wyszczególniono zmienne, parametry wejściowe i wyjściowe. W ramach obszernego zestawu załączników, zaprezentowane zostały wszystkie wyniki pomiarów zebranych podczas prowadzonych badań. W ocenianej rozprawie doktorskiej trafnie zidentyfikowano problem badawczy oraz poprawnie sformułowano tezy. Ponadto pracę wzbogaciła analiza ekonomiczna. **Biorąc pod uwagę powyższe, oceniana rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora.**

## **5.3. Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej**

Przegląd literatury przeprowadzony w ramach ocenianej rozprawy pokazuje, że wśród dostępnych wyników badań dotyczących systemów odzyskiwania ciepła ze ścieków w budynkach mieszkalnych brakuje analiz, które porównywałyby różne konfiguracje. Producenci elementów takich systemów, głównie wymienników ciepła, podają jedynie wartość sprawności temperaturowej odzysku wymiennika ciepła. Wymiennik taki może jednak pracować w różnych konfiguracjach systemu przygotowania c.w.u. i systemu kanalizacji. Wyniki badań przeprowadzonych w ramach przedmiotowej rozprawy pokazują, że rozdział strumieni wody w systemie ma decydujący wpływ dla efektu energetycznego i dopiero

---

taka analiza pozwala rzetelnie i sprawiedliwie ocenić efektywność tego typu rozwiązania dla oszczędności energii. Problem naukowy został trafnie i poprawnie zidentyfikowany, opisany oraz wykorzystano odpowiednie narzędzia, aby go rozwiązać. Wyniki pracy przedstawiają oryginalne i unikalne informacje na temat charakterystyki badanego systemu odzyskiwania ciepła ze ścieków. **Biorąc pod uwagę powyższe, oceniana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.**

## 6. Wniosek końcowy

Podsumowując powyższą recenzję rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Beaty Piotrowskiej pt. „Badania odzysku ciepła odpadowego w instalacjach kanalizacyjnych obiektów mieszkalnych” **stwierdzam, że spełnia ona wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce** (Dz.U. 2018, poz. 1668, z późniejszymi zmianami).

Jednocześnie wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza o **dopuszczenie Pani mgr inż. Beaty Piotrowskiej do publicznej obrony przedmiotowej pracy.**

**Biorąc pod uwagę szeroki zakres pracy (badania doświadczalne i analiza ekonomiczna), dużą wartość eksperymentalnej części pracy, a także bardzo obszerny program badań, dzięki któremu można było porównać różne struktury systemu pod względem skuteczności odzyskiwania ciepła, a także pod względem energetycznym, w szerokim i praktycznym ujęciu – bardzo cennym dla dyscypliny, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Beaty Piotrowskiej.**

Poznań, dn. 21 sierpnia 2023 r.

  
dr hab. inż. Łukasz AMANOWICZ