

Szczecin, 23 stycznia 2023r.

Prof. dr hab. inż. Aleksandra Borsukiewicz
Katedra Technologii Energetycznych
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Arkadiusza Musiał

pod tytułem

„Optymalizacja parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych siłowni ORC zasilanej ciepłem odpadowym z procesów przemysłowych”

Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Jacek Kalina.

Promotorem pomocniczym jest dr inż. Łukasz Antczak.

Opinia została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej.

Recenzję przygotowano wg zasad zawartych w umowie o dzieło na wykonanie recenzji.

1. Przedstawienie podstawowych danych o Kandydacie

- a) data uzyskania tytułu magistra oraz nazwa jednostki organizacyjnej, w której ten tytuł został nadany

Niestety nie posiadam takich informacji, także nie zostały one zawarte w przesłanych dokumentach.

- b) informacja, czy Kandydat ubiegał się uprzednio o nadanie stopnia doktora

Nie posiadam takiej informacji i nie jest ona zawarta w przesłanych dokumentach.

- c) przebieg pracy naukowo-zawodowej (miejsce pracy, zajmowane stanowiska)

Nie posiadam takich informacji i nie zostały one zawarte w przesłanych dokumentach.

2. Przetawienie informacji o ocenianej rozprawie doktorskiej

2a) Tytuł rozprawy doktorskiej

„Optymalizacja parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych siłowni ORC zasilanej ciepłem odpadowym z procesów przemysłowych”

2b) Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

Recenzowana rozprawa doktorska obejmuje 101 stron. Składa się z następujących części: wykazu ważniejszych oznaczeń, 11 rozdziałów, w tym z wprowadzenia, wniosków i podsumowania oraz streszczeń w języku polskim i angielskim i bibliografii. Praca została uzupełniona o spis rysunków i spis tabel. Rozprawa nie zawiera załączników. Zawartość poszczególnych rozdziałów streszczono poniżej.

W pierwszym, najbardziej obszernym rozdziale zatytułowanym *Wprowadzenie*, Doktorant przybliżył tematykę sposobów klasyfikowania odpadowych źródeł ciepła oraz możliwości ich pozyskiwania i zagospodarowania. Opisał wraz z podaniem przykładów procesy rekuperacji i regeneracji ciepła z procesów przemysłowych, różnice pomiędzy nimi oraz zalety i wady (zagrożenia). Następnie przedstawione zostały sposoby jakie mogą być zastosowane w celu konwersji ciepła odpadowego na prąd elektryczny: zastosowanie obiegu parowego wodnego, obiegu Kaliny, silnika Stirlinga, odwróconego obiegu Braytona i w osobnym podpunkcie technologia organicznego obiegu Rankine'a. Wiele uwagi poświęcono metodom szacowania potencjału ciepła odpadowego, ocenie potencjału tego ciepła w przemyśle, oraz podjęto próbę określenia wielkości produkcji prądu elektrycznego z wykorzystaniem układów ORC zasilanych ciepłem odpadowym. W punkcie tym został też sformułowany cel i zakres pracy oraz postawiona teza badawcza.

Prototypowe jednostki ORC Marani są przedmiotem drugiego rozdziału recenzowanej pracy.

W rozdziale tym przybliżono zakres działalności firmy Marani Sp. z o.o., która wraz z Instytutem Maszyn Przepływowych w Gdańsku zrealizowała trzy projekty, w ramach których powstały trzy prototypowe układy ORC: ORC10, ORC30 i ORC300. Doktorant w ramach rozdziału drugiego pracy przedstawił schematy instalacji wymienionych układów, ich opisy wraz z nominalnymi parametrami pracy a także zdjęcia i wizualizacje układów.

Przegląd literatury stanowi rozdział trzeci, w którym Doktorant przytoczył prace innych autorów z zakresu optymalizacji układów ORC zasilanych ze źródeł ciepła odpadowego. W ramach przeglądu literatury tematu zostało zacytowanych i przeanalizowanych 13 publikacji.

Model matematyczny dla wyznaczania nominalnych parametrów układów ORC to tytuł czwartego rozdziału. Doktorant opisał w nim procedurę obliczania poszczególnych wielkości, między innymi mocy netto układu, sprawności turbiny i układu, obliczania powierzchni wymiany ciepła. Zostały też określone warunki początkowe i brzegowe modelu obliczeniowego dla czterech wariantów układu a wariantowość wynika głównie z charakterystyki źródła ciepła odpadowego. W rozdziale tym zamieszczono podrozdział „procedura optymalizacji”. Określono, że optymalizacja odbywa się poprzez poszukiwanie optymalnego ciśnienia pary czynnika roboczego na wlocie do turbiny, zapewniającego maksymalną wartość funkcji celu. Jako funkcję celu przyjęto moc netto układu ORC. Przedstawiono także procedurę szacowania sprawności wewnętrznej turbiny dla przypadków gdy wartość ta nie została założona jako stała lub jeżeli obliczenia są prowadzone dla turbiny o nieznanym charakterystyce. W podrozdziale 4.3 przedstawiono procedurę obliczania powierzchni wymiany ciepła poszczególnych wymienników.

Model matematyczny przy zmiennym obciążeniu stanowi przedmiot piątego rozdziału. Przedstawiono w nim metodykę określania wybranych wielkości dla przypadku gdy układ pracuje poza nominalnymi parametrami pracy. Model ten został opracowany jako uniwersalny z zastosowaniem korelacji zaczerpniętych z literatury ale z możliwością implementacji charakterystyk konkretnych zastosowanych urządzeń.

Efekt ekologiczny, w którym przedstawiono zależność do określania redukcji emisji wybranej substancji oraz wartości wskaźników emisji tych substancji przy produkcji energii elektrycznej opartej o procesy spalania, stanowi treść szóstego, bardzo krótkiego rozdziału.

Szacowanie kosztów układów ORC, jest przedmiotem siódmego rozdziału. Model obliczeniowy szacowania kosztów dotyczy takich komponentów jak koszt czynnika roboczego, oleju termalnego, glikolu, koszt turbiny, generatora prądu elektrycznego, wymienników ciepła: ekonomizera, parownika i skraplacza, regeneratora, pomp i wielu innych komponentów.

Studium przypadku to rozdział pracy, który zawiera porównanie wyników uzyskanych z wykorzystaniem modelu opracowanego w ramach tej pracy doktorskiej i zaimplementowanego do środowiska programowania Python z wynikami obliczeń przedstawionymi w raporcie IMP Gdańsk dla układu Marani ORC30. W pierwszej kolejności (podrozdział 8.1 Założenia) dokonano porównania wyników obliczeń uzyskanych z modelu obliczeniowego Autora. W tym celu podano założenia przyjęte do porównań dla wszystkich czterech wariantów układu ORC, wyselekcjonowano czynniki robocze (toluen, cykloheksan, p-ksylen, m-ksylen, benzen i MM), oraz oleju termalnego Terminol66, a także w formie tabeli przedstawiono założenia niezbędne do obliczenia powierzchni wymiany ciepła wymienników. Na rysunkach od (8.1) do (8.6) zobrazowano wyniki obliczenia mocy netto dla poszczególnych wariantów, sprawności, kosztów (całkowitego i jednostkowego) i innych wielkości. W następnym podrozdziale (8.2) porównano uzyskane wyniki obliczeń dla siłowni ORC z toluenem jako czynnikiem roboczym z wynikami obliczeń IMP w Gdańsku dla układu ORC30.

Analiza wyników sesji pomiarowej oraz weryfikacja wyników modelu off-design, to rozdział pracy, w którym Doktorant porównał wyniki obliczeń uzyskanych z zastosowaniem opracowanego w doktoracie narzędzia do wyników pomiarów dla układu Marani ORC30. Porównania dokonano dla trzech wybranych zestawów parametrów. Z graficznego porównania można zauważyć, że wyniki obliczeń wg modelu Autora pracy są zazwyczaj „nieznacznie” niższe lub większe, niż te uzyskane eksperymentalnie lub są zbliżone.

Wnioski zostały zawarte w dziesiątym rozdziale rozprawy. Autor pracy sformułował wiele wniosków, z których poniżej przytoczono kilka. Jako funkcję celu przyjęto moc netto układu ORC i największą jej wartość uzyskano dla struktury układu nr 3 z toluenem jako czynnikiem roboczym.

Dla układów o prostszej strukturze (np. bez dodatkowego układu oleju termalnego) moc jest większa gdyż układ cechuje się mniejszymi potrzebami własnymi. Układy z zastosowaniem wewnętrznej regeneracji ciepła cechują się wyższą sprawnością i mocą. Jak zauważył Autor pracy zastosowanie układu z olejem termalnym wpływa także na podwyższenie kosztu układu ORC. Jednak jak podkreśla Doktorant, zastosowanie olejowego obiegu pośredniego pomimo niekorzystnego wpływu na wszystkie wskaźniki oceny efektywności pracy układu ORC, w praktyce może okazać się niezbędnym np. w celu kompensacji zmian temperatury źródła ciepła odpadowego.

Podsumowanie – wdrożeniowy charakter opracowanych narzędzi to tytuł ostatniego rozdziału, w którym w czterech zdaniach Doktorant przedstawił zalety opracowanej aplikacji komputerowej i podkreślił jej walory w zastosowaniach praktycznych przez firmą Marani.

W mojej ocenie układ pracy jest prawidłowy, logiczny, poszczególne rozdziały zostały zaprezentowane we właściwej kolejności.

Uwaga 1

Jedyna uwaga dotycząca układu pracy jest taka, że cel pracy powinien zostać zamieszczony w osobnym rozdziale, a nie w rozdziale pierwszym dotyczącym źródeł ciepła odpadowego, metod ich klasyfikowania i sposobów zagospodarowania.

2c) Ocena zastosowanego piśmiennictwa

Spis literatury cytowanej, który zawiera 77 pozycji, obejmuje zarówno opracowania klasyczne, jak również najnowsze publikacje z czasopism oraz raporty i sprawozdania z badań; ponad 50 cytowanych pozycji pochodzi z ostatnich 10 lat.

W mojej ocenie dobór źródeł jest prawidłowy.

2d) Wskazanie i ocena celu pracy

Doktorant sformułował cel swojej rozprawy w rozdziale pierwszym w punkcie 1.5. Jest on następujący:

„Opracowanie narzędzi obliczeniowych do stosowania w warunkach przemysłowych oraz zbioru wytycznych projektowych oraz dopuszczalnego zakresu nastaw eksploatacyjnych modułu siłowni pracującej wg obiegu Rankine’a z organicznym czynnikiem roboczym (ORC) o mocy znamionowej w przedziale od 200 kW do 300 kW, zasilanego ciepłem odpadowym z procesów przemysłowych”.

W punkcie tym zostało wskazane także, że „**głównym wynikiem realizacji** pracy jest oprogramowanie komputerowe wspomagające proces konfiguracji [...] układu ORC a także proces ofertowania”.

Jak deklaruje Autor na bazie modelu obliczeniowego opracowanego przez Doktoranta powstało oprogramowanie (w języku programowania Python). Wyniki uzyskiwane z modelu zostały, dla wybranych przykładów, porównane do wyników zawartych w dokumentacji projektowej układu ORC30 opracowanego przez Instytut Maszyn Przepływowych w Gdańsku dla/we współpracy z firmą Marani Sp. z o.o. Porównanie to zostało zrobione w celu weryfikacji poprawności modelu obliczeniowego. W działaniach tych wykorzystano również wyniki pomiarów i doświadczenia eksploatacyjne dla układu ORC30.

Ocena celu rozprawy

Uważam, że ogólne sformułowanie celu pracy jest prawidłowe. Cel pracy, czyli w pierwszej kolejności opracowanie modelu obliczeniowego, jego weryfikacja a na jego podstawie stworzenie aplikacji komputerowej, do konfigurowania układów ORC, szacowania efektywności ich pracy oraz kosztów ma charakter w pierwszej części naukowy a w drugiej użyteczny. Wykorzystanie praktycznego efektu końcowego tej pracy doktorskiej może być bardzo użyteczne dla firmy Marani jako producenta/dostawcy kompletnych układów ORC (kompletnych w rozumieniu siłownia ORC wraz z systemem pozyskiwania ciepła odpadowego).

Uwaga 2

W sformułowaniu celu pracy pojawia się **zawężenie mocy znamionowej** układów ORC do przedziału od 200 kW do 300 kW. Natomiast jako studium przypadku zaprezentowano układ Marani ORC30 o mocy elektrycznej (w zależności od wariantu) pomiędzy 30 a 40 kWel. Także wyniki zawarte w rozdziale 9 dotyczą układów o mocy pomiędzy 30-40 kWel. Dlaczego?

Uwaga 3

Jakie są ograniczenia opracowanego przez Doktoranta i zaprezentowanego w pracy narzędzia? Czy można je w takim razie stosować dla układów większych lub mniejszych, jaki jest zakres stosowania aplikacji?

Uwaga 4

W sformułowaniu celu pracy pojawiają się słowa „*Opracowanie narzędzi obliczeniowych*” – dlaczego użyto liczby mnogiej? Czy opracowany program (aplikacja) jest narzędziem czy narzędziami?

Uwaga 5

Na stronie 38 pojawia się stwierdzenie „*Wykorzystano również doświadczenia eksploatacyjne oraz wyniki pomiarów zebrane w czasie ruchu instalacji pilotowych układów o mocy 30 kW*”. Wyniki badań z ilu układów pilotowych o mocy 30 kW użyto do weryfikacji modelu?

Uwaga 6

Na stronie 37 w punkcie *Cel i zakres pracy* jest zapis, że „*głównym wynikiem realizacji pracy jest oprogramowanie komputerowe wspomagające proces konfiguracji [...] układu ORC [...] a także proces ofertowania*”. Dlaczego w pracy nie zamieszczono linku do tego oprogramowania lub w inny sposób nie umożliwiono zapoznania się z tym oprogramowaniem? Bardzo ułatwiłoby to weryfikację poprawności działania, lub przynajmniej dało chociaż ogólny pogląd na główny efekt realizacji tej pracy doktorskiej.

Uwaga 7

W punkcie 1.6 o tytule Tezy badawcze sformułowano tezę. Dlaczego w tytule pojawia się słowo „Tezy” (w liczbie mnogiej)?

Uwaga 8

Czy stawianie tezy w przypadku pracy, której efektem jest opracowanie programu komputerowego cokolwiek wnosi do pracy i sposobu jej realizacji?
Dodam, że teza (w dużym uproszczeniu i po skróceniu) brzmi następująco: układ ORC da się zoptymalizować tak aby w danych warunkach uzyskać najkorzystniejszy wynik. Tak postawiona teza jest oczywista.

2e) Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

W ocenianej pracy zastosowano sekwencję metod badawczych. W pierwszej kolejności przeprowadzono analizę dokumentów. Następnie dokonano opisu matematycznego poprzez stworzenie modelu elektrowni ORC, który został zoptymalizowany pod kątem maksymalnej mocy układu ORC. Kolejną zastosowaną metodą badawczą jest studium przypadku - gdzie dokonano weryfikacji (porównania) modelu własnego z modelem innego autorstwa oraz z wynikami eksperymentalnymi.

W mojej opinii wybrano właściwe metody badawcze, które zostały zastosowane we właściwy sposób.

2f) Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Efektom ocenianej pracy jest program komputerowy do projektowania i kosztorysowania układów ORC. Podstawą do opracowania programu jest model matematyczny zaprezentowany w pracy, którego weryfikacji dokonano poprzez porównanie z innym modelem oraz do

wyników eksperymentu co zostało zawarte w rozdziale 8 i 9 pracy doktorskiej. Wizualizację i omówienie wyników pracy oceniam jako wykonane w wystarczającym zakresie.

2g) Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Oceniana praca doktorska ma charakter użytkowy. Główny efekt pracy – program komputerowy jest dedykowany wprost do wykorzystania w przedsiębiorstwie oferującym gotowe układy ORC w kilku wariantach oraz do ich kosztorysowania.

2h) Informacje o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej

Po lekturze niniejszej pracy doktorskiej stawiam dwa zarzuty:

- 1) nie zamieszczenie linku, nośnika informacji czy innego sposobu dającego „podgląd” do programu komputerowego, który jest efektem realizacji niniejszej pracy;
- 2) bardzo słabe przygotowanie edytorskie pracy, utrudniające jej czytanie i zrozumienie.

2i) Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Tak, w mojej opinii, zawartość ocenianej pracy doktorskiej stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.

2j) Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie Inżynieria środowiska, Górnictwo i Energetyka oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Tak, niniejsza rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie Inżynieria środowiska, Górnictwo i Energetyka oraz potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

3) Szczegółowe wymienienie błędów oraz niesłusznych i niedokładnych sformułowań

Uwagi dyskusyjne

Uwaga 9 do punktu 1.2

W wierszu 4 od dołu jest napisane” *Istotną różnicą w stosunku do wody jest także zbieżność izobar w obszarze pary przegrzanej, co prowadzi do obniżenia spadku entalpii w ekspanderze. Stąd też w biegach ORC zwykle nie stosuje się zabiegu przegrzewania pary*”.

Proszę o wyjaśnienie tego wyводу, **powiązania „zbieżności izobar”** ze spadkiem entalpii w ekspanderze **i brakiem konieczności stosowania przegrzewania**. Co Doktorant rozumie pod pojęciem „zbieżność izobar”? Może warto byłoby to pokazać na odpowiednim wykresie.

Uwaga 10 do podpunktu 4.1 Procedura optymalizacji

Nie rozwinięto zagadnienia jaki rodzaj optymalizacji został zastosowany.

Uwaga 11 do podpunktu 4.3 Obliczanie powierzchni wymiany ciepła

Ten podrozdział pracy został opracowany bardzo skrótowo. Podano, że zastosowano wymienniki płaszczowo rurowe, jednak nie podano który czynnik przepływa stroną płaszczową a który stroną rurową wymiennika ciepła. Dodam, że możliwe czynniki to spaliny, olej termalny, woda grzewcza, organiczny czynnik roboczy, woda chłodząca/glikol.

Uwaga 12 do punktu 8 Studium przypadku

W rozdziale tym na stronie 76 podano, że dokonano porównania wyników uzyskanych z modelu obliczeniowego Autora pracy, opracowanego w języku programowania Python do niezależnych obliczeń IMP przeprowadzonych w programie Matlab. Jaką wartość ma takie porównanie, jeśli nie zaprezentowano modelu obliczeniowego IMP? Czym model obliczeniowy IMP różni się od modelu Autora? Jakim stopieniem zbieżność charakteryzuje się model obliczeniowy IMP z wynikami eksperymentu? W pracy brakuje komentarza na ten temat.

Uwaga 13 do punktu 10 Wnioski

Moim zdaniem brakuje we wnioskach odniesienia do zakresu stosowalności programu (i modelu obliczeniowego), który jest efektem tej pracy doktorskiej. Ponadto kreślenie dopuszczalnego zakresu nastaw eksploatacyjnych jest celem pracy

Uwagi dotyczące rysunków

Brak odwołania do rysunków 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.11, 1.18, 1.19, 1.20, 1.21, 1.22, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 8.7, 8.8, do rys 8.9 jest odwołanie w innym rozdziale a nie tam gdzie został zamieszczony, 8.13, 9.3, 38 rysunków nie ma odwołania w tekście, na 68.

Na rys. 1.2 brak jest objaśnień oznaczeń K1, K2 WP.

Rys. 1.8 i 1.13 to te same rysunki.

Na stronie 8, podpis pod rysunkiem 1.5 pojawia się dwa razy, drugi raz jest wtrącony w zdanie pierwszego pod rysunkiem akapitu.

Uwagi dotyczące tabel

Brak odwołania do tabel 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10, 1.11, 1.12, 7.2, 8.1, 8.2.

W tabeli 1.6 dwukrotnie pojawia się wiersz „Grzałki”.

W tabeli 7.3 dwie kolumny mają takie samo oznaczenie LP.

Pozostałe uwagi (edytorskie, nieprawidłowe lub nieprecyzyjne sformułowania)

Str. 10 wiersz 15 od góry jest *znajdujących się* powinno być *znajdującego się*

Str. 11 wiersz 7 od góry jest *Claussiusa* powinno być *Clausiusa*

Str. 12 w połowie strony nieprawidłowe sformułowanie „rozwiązanie to jest także ma wady”

Str. 12 w połowie strony błąd ortograficzny jest „*durze*”

Str. 12 w połowie strony literówka w słowie *wykwalifikowany*

Str. 12 w połowie strony jest *zastosowane* powinno być *zastosowanie*

Str. 12 na dole nieprawidłowe sformułowanie „*manipulowanie stosunkiem woda – amoniak...*”

Str. 13 wiersz 5 pod rysunkiem „*mieszanina wody stanie ciekłym...*”

Str. 14 wiersz 6 nad tabelą nieprawidłowe sformułowanie „*Jednostka w oparciu wodę...*”

Str. 14 wiersz 2 nad tabelą „*W tabeli (brak nr tabeli) przedstawiono znane wdrożenia do obiegu Kaliny do ...*”

Str. 14 wiersz 4 pod tabelą „*silniki Stirlinga również nie należą nowych koncepcji ...*”

Str. 15 w połowie strony „*uzyskując wzrost mocy do 20,28% do 24,17%*”

Str. 15 tekst wytłuszczony, jest „*odwrócony obieg **Barytona***”

Str. 18 wiersz 2 od góry powtórzone słowo „*obiegu*”

Str. 18 wiersz 7 od góry nieprawidłowe sformułowanie „*maszyna robocza napędzająca generator elektryczny*”

Str. 18 wiersz 4 od dołu nieprawidłowe, niezrozumiałe sformułowanie „Kluczowe zależności oraz kształtujące jego efektywność termodynamiczną procesu ORC opisują moc osiągalną generatora G...”

Str. 20 wiersz 2 pod rysunkiem „to może zostać rozbite na dwa wymienniki...”

Str. 22 wiersz 11 od dołu „technologia jest coraz częściej dostrzegana jest przez...”

Str.22 wiersz 7 od dołu „technologia ORC do znalazła zastosowanie do...”

Str. 24 ostatni wiersz „Rozwój oferty poszczególnych firm odbywa się w oparciu o opracowaną technologię ekspandera...” styl, liczba pojedyncza czy mnoga?

Str. 25 ostatni wiersz podpunktu 1.3, **nie dokończone zdanie**. Cały ten podpunkt wygląda na niedokończony.

Str. 30 wiersz 3 od góry „w szerokim spektrum zastosowań takich: bezpośrednio...” brakuje słowa *jak*,

Str. 30 wiersz 10 od góry „wskaźnik jakości ciepła” powinno być jakości

Str. 30 wzór 1.4.8 nie objaśniono oznaczeń,

Str. 31 wiersz 3 od dołu jest „w polskim przemyśle” – czy wzór (1.4.11) dotyczy tylko polskiego przemysłu?

Str. 32 wiersz 6 od dołu „W 2017r. w polski przemysł wyemitował...”

Str. 33 wiersz 13 od dołu „występują w wszystkich sektorach...”

Str. 38 wiersz 14 od dołu „W tym badaniu...” powinno być po przecinku z małej litery, kontynuacja zdania.

Str. 39 ostatni wiersz podpunktu 1.6 „zapewni efekt optymalny” powinno być zapewnią;

Str. 39 wiersz 3 od dołu „[...] mających na celu opracowanie typoszeregu jednostek ORC nadających się do zastosowania w wykorzystywanych sprężarkach [...]” nieprawidłowe, wprowadzające w błąd sformułowanie;

Str. 40 wiersz 1 od góry powinno być *mające* stanowić;

Str. 40 wiersz 11 od góry powinno być „w zakładach przemysłowych” a nie „na zakładach przemysłowych”;

Str.40 wiersz 8 od dołu „Obecnie dla każdego z prototypów dokonano indywidualnego projektu turbiny” – styl tego zdania jest nieprawidłowy.

Str. 45 wiersz 9 od góry powinno być ze sprężarkami ...;

Str. 45 wiersz 11 od góry jest „zawartego w spalinach”, powinno być „zawartego w spalinach”;

Str. 47 wiersz 9 od dołu jest „infrastruktury sprężarkowi Marani”;

Str. 46 wiersz 8 od dołu jest „źródła ciepła” powinno być *źródło ciepła*;

Str. 47 wiersz 7 od dołu jest „spalin” powinno być „*spaliny*”;

Str. 47 wiersz 5 jest „korzyściami energetycznymi na jakie by przyniosła” powinno być bez „na”;

Str. 50 wiersz 2 od góry jest „współpracujących z źródłami” powinno być „współpracujących ze źródłami”;

Str. 50 wiersz 5 od góry jest „*tupu*”;

Str. 50 wiersz 6 od góry jest „Przykładowo [58] opracowali model ...” nie używa się takiej formy przy cytowaniu publikacji;

Str.50 wiersz 13 od góry jest „badali wpływ ...” nie używa się takiej formy przy cytowaniu publikacji;

Str. 50 wiersz 14 od góry jest „Stwierdzili, że...” nie używa się takiej formy przy cytowaniu publikacji;

Str. 50 wiersz 17 od góry jest „Metodologia ta oparta była na wielopoziomowej perspektywie...” styl tego zdania jest niepoprawny;

Str. 50 wiersz 20 oraz 22 i 25 od góry jest „zapropozowali, zintegrowali ” nie używa się takiej formy przy cytowaniu publikacji;

Str. 50 wiersz 2 od dołu „Zagospodarowanie ciepła odpadowego jest wymieniane jako jedna z rynkowych nisz do zagospodarowania przez technologię ORC” to zdanie jest niepoprawnie sformułowane, i wtrącone do rozdziału 3 bez związku logicznego z tym punktem pracy.

Str. 51 wiersz pierwszy od góry – przywołano pracę [33] – rejestr zrealizowanych i będących w realizacji projektów ORC – ta publikacja nie dotyczy tematycznie optymalizacji układów ORC, nie powinna być cytowana w tym rozdziale pracy.

Str. 51 wiersz 4 od góry jest „[...] pod względem poziom temperatury oraz strumienia w literaturze można [...] powinno być „poziomu temperatury”, oraz jakiego strumienia dotyczy to stwierdzenie?

Str. 51 wiersz 10 od góry jest „dla na statku wycieczkowym...”;

Str. 51 wiersz 19 od góry jest: „w analizie ograniczono się jedynie do spalin, argumentując to niską sprawnością układów ORC wykorzystujących nośniki ciepła o takim poziomie temperatury” – to zdanie jest nieprawidłowo sformułowane, wprowadza w błąd czytelnika;

Str. 51 wiersz 22 od dołu jest „Dla analizowanego gazy wylotowe z pieca...” chyba brakuje w tym zdaniu jakiegoś wyrazu;

Str. 55 wiersz 13 od góry jest „na wylocie w skraplacza”;

Str. 56 wiersz 4 od góry jest „W tym miejscu przedstawiony zostanie gdy sprawność turbiny...” nie napisano co zostanie przedstawione;

Str. 56 wiersz 2 od dołu jest „na wlocie do regeneratora wlocie po zimnej stronie...”;

Str. 57 wiersz 1 od góry „par na wylocie z regeneratora” – brakuje początku zdania;

Str. 57 wiersz 4 od góry jest „i wylocie skraplacza”, brakuje słowa ze;

Str. 58 wiersz 1 od dołu jest „strumień chłodziwa przepływające przez skraplacza” powinno być „przepływający”;

Str. 59 wiersz 10 od dołu jest „Chłodnia wentylatorowa czy może zostać pominięta...” szyk zdania jest nieprawidłowy;

Str. 61 wiersz 5 od góry jest „poniżej założonego poziomu” powinno być „poniżej założonego poziomu”;

Str. 62 wzór (4.3.7) dotyczy przepływu w rurkach, a podpis nad równaniem, że dotyczy przepływu dla płaszcza;

Str. 64 wiersz 5 od dołu jest: „przepływ przez czynnika roboczego”, słowo przez jest zbędne;

Str. 65 wiersz 5 od dołu jest: „parametry wlot/wylot ekonomizera...” brakuje do/z;

Str. 66 wiersz 4 od góry jest „dla strefy w których nie zachodzi zmiana stanu efektywność wymiennika obliczana jest...” powinno być „dla stref w których nie zachodzi zmiana stanu **skupienia**, efektywność wymiennika obliczana jest...”

Str. 66 wiersz 8 od dołu jest „ze spalania na paliw na cele...”;

Str. 68 wiersz za wzorem (7.4) jest „Ncr – moc netto czynnika roboczego w zakresie, kW” – czego dotyczy sowo zakres?

Str. 71 wiersz 2 jest „w wzorach” powinno być „we wzorach”;

Str. 73 wiersz 3 powyżej tabeli jest „eklektycznych” powinno być „elektrycznych”;

Str. 77 wiersz 3 powyżej tabeli jest „Podobnie w jak przypadku...”

Str. 88 wiersz ostatni jest „do uwzględnienia potrzeb własnych na energię elektryczną własnych”;

Str. 90 wiersz 15 od dołu jest „Dodatkowo koszt/kW zainstalowane mocy ...” – zbyt duży skrót myślowy;

Str. 91 wiersz 2 rozdziału 11 jest „Stworzone w ramach doktoratu oprogramowanie pozwala na zaadresowanie kwestii związanych z implementacją technologii ORC dla danego źródła ciepła odpadowego takich jak:...” – zdanie niezrozumiałe.

Str. 100 Pozycja literatury [61] – odnośnik nie jest pełny, brak informacji o tytule czasopisma, wydawcy, brak nr, roku wydania.

VII Wniosek do Rady Dyscypliny Inżynieria środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej

Stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Arkadiusza Musiał zatytułowana: „Optymalizacja parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych siłowni ORC zasilanej ciepłem odpadowym z procesów przemysłowych”, **spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim** zgodnie z art. 187 Ustawy z dnia 20.07.2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. z 2020r. poz.85, z późn. zm.) i dlatego przedkładam Radzie Dyscypliny Inżynieria środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej wniosek o dopuszczenie jej Autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Treść pracy jest zgodna z dyscypliną naukową Inżynieria środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Aleksandra Bosukiewicz