



Dr hab inż. Waldemar Kuczyński prof. PKosz.
Politechnika Koszalińska Wydział Mechaniczny
Katedra Energetyki
75 – 620 Koszalin, ul. Raławicka 15-17
Tel. 94 3478-420, 437
email: waldemar.kuczynski@tu.koszalin.pl



Koszalin, 15.04.2019 r

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Sandry Storczyk pt.:
„Metoda obliczenia aparatu do przeponowej wymiany ciepła
z równoczesną rektyfikacją substancji”

Recenzję wykonano na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej w Płocku w oparciu o pismo nr Ldz. PO/12/2019 z dnia 04.04.2019 r.

Rozprawa doktorska powstała pod kierunkiem **dr hab. inż. Mariusza Markowskiego prof. PW.**

1. Przedmiot rozprawy

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest analiza nazwana *matematycznym opisem aparatu*, służącego do rozdziału substancji na drodze rektyfikacji w wymiennikach ciepła o budowie opartej na kanałach przepływowych o odpowiedniej konstrukcji. Proces rektyfikacji realizowano na drodze przeponowej wymiany ciepła w obszarze wzmacniającającym oraz odpędowym, które opisano tzw. profilami kolumn w układzie temperatura-entalpia.

Matematyczny model rektyfikacji oparto o tzw. *półki teoretyczne*, dla których uwzględniono bilans cieplny i masowy w kolumnach rektyfikacyjnych. Liczbę *półek teoretycznych* w kanale aparatu dla modelu matematycznego określono analogicznie do liczby rzeczywistej tych elementów konstrukcyjnych w rektyfikatorze. Jako warunek brzegowy przyjęto również takie same sprawności wymienników masy o konstrukcji półkowej. W warunkach rzeczywistej realizacji procesu rektyfikacji tzw. półki to obszary o intensywnej wymianie masy i ciepła w stanie gazowym oraz cieczy o przepływie przeciwnym. Natomiast w celu walidacji zaproponowanego modelu matematycznego przyjęto numeryczne rozwiązanie bilansu pędu.

Zaproponowany model matematyczny w założeniach ma służyć do doboru odpowiedniego aparatu rektyfikacyjnego rzeczywistego. Parametrami wejściowymi do przeprowadzenia optymalnej rektyfikacji substancji w założeniach są podstawowe parametry termodynamiczne takie jak: ciśnienie, temperatura, strumień masowy, dla których definiuje się największą sprawność układu tj. minimalną energochłonność układu. Optymalizacja funkcjonalności rektyfikatora osiągnięta została w oparciu o funkcję celu, wyrażoną zmianami strumieniami energii napędowej (ciepła), przy zmiennych decyzyjnych takich jak ciśnienia w części

wzmacniającej oraz odpędowej kanału rektyfikacyjnego. Założenia te pozwoliły na przeprowadzenie obliczeń cieplno-przepływowych proponowanego tzw. *aparatu*. Uzyskane w modelu matematycznym sprawności odniesione do energochłonności porównano z rzeczywistymi technologiami stosowanymi w przemyśle.

We **wstępnym rozdziale** Autorka przedstawia genezę swojej rozprawy doktorskiej. W tej części opracowania przedstawiono podstawowe informacje dotyczące realizacji opracowania.

Rozdział 2 przedstawia przegląd aktualnego stanu wiedzy z rozpatrywanego zakresu. Autorka opracowania przedstawiła przegląd technologii stosowanych w przemyśle, dotyczących realizacji rektyfikacji oraz metod mających na celu podwyższenie sprawności tych procesów.

Rozdział 3 przedstawia hipotezę, cel i zakres rozprawy. Według Autorki, celem rozprawy doktorskiej jest opracowanie modelu fizycznego oraz matematycznego służącego do opisu tzw. *aparatu rektyfikacyjnego nowej technologii*, w którym wykorzystuje się przeponową wymianę ciepła. Podstawowym założeniem jest uzyskanie znacznego zmniejszenia zużycia energii w odniesieniu do stosowanych aktualnie w przemyśle tego typu urządzeń. Na tej podstawie sformułowano hipotezę, która znajduje się na str. 30 opracowania. Oczywistym jest też, że pozwoliło to na wyznaczenie zakresu pracy, który obejmuje: analize stanu wiedzy z rozpatrywanego zakresu, modelowanie fizyczne oraz matematyczne układu rektyfikacyjnego, analize egzergetyczną oraz propozycję wykorzystania opracowanego tzw. *aparatu* do doboru nowego urządzenia.

Rozdział 4 ujmuje propozycję matematycznego opisu przeponowego wymiennika ciepła stosowanego w procesach rektyfikacyjnych. Autorka podaje tutaj informację, że w celu sformułowania tzw. uniwersalnego modelu obliczeniowego, dla opisu wymiany ciepła w wymienniku przeponowym przyjęto założenia dla ogólnie stosowanych modeli do wyznaczania oporów cieplnych. W opisie procesu rektyfikacji substancji zastosowano model półki teoretycznej. Rozdział ten podzielono na 5 następujących części:

4.1. Model idealnego układu o minimalnych stratach egzergetycznych, w którym Autorka podjęła próbę przeprowadzenia wyznaczenia sprawności egzergetycznej dla rozpatrywanego układu rektyfikatora. Analizę tę oparto o model idealnej kolumny rektyfikacyjnej, w odniesieniu do której identyfikowano sprawność obiektów rzeczywistych. Stwierdzono, że najmniejsze straty egzergetyczne w układzie stosowanym do termicznego rozdziału substancji uzyskuje się:

- przy odpowiedniej konfiguracji zbioru sprzężonych ze sobą cieplnie aparatów rektyfikacyjnych,
- przy odpowiednich parametrach eksploatacyjnych tj. temperaturze, ciśnieniu i strumieniach masowych w całym układzie.

4.2. Model fizyczny układu do termicznego rozdziału substancji, w którym zaproponowano model fizyczny kolumny rektyfikacyjnej o skończonych rozmiarach. Model ten ma charakter układu dyskretnego, którego rozwiązanie bilansowe rozwiązuje się dla skończonej liczby półek. Wymiana ciepła i masy w tym modelu z założenia ma charakter ciągły dla nieskończonej liczby półek, w układzie z kanałami o nieskończonej liczbie punktów oddziaływań cieplnych. Powoduje to transformację równań dyskretnych w różniczkowe, które to są wykorzystywane w proponowanej metodzie obliczeniowej aparatu do wyznaczania wymiany ciepła w przeponowym wymienniku ciepła z równoczesnym rozdziałem termicznym substancji.

4.3. Profile kolumny, w którym przedstawiono schematycznie próbę wykonania dyskretyzacji dla rozpatrywanego układu rektyfikatora. Rozwiązanie to oparto o bilans energii, masy składnika substancji przy pominięciu bilansu pędu.

4.4. Wyznaczanie powierzchni wymiany ciepła metodą oporów cieplnych, gdzie zaproponowano zastosowanie sformułowanego modelu matematycznego do opisu działania rektyfikatora, w którym w miejsce kolumn rozpatruje się wymiennik płytowy. Przyjęto w tym przypadku takie same założenia jak dla wymiennika przeponowego. W opisie matematycznym uwzględniono tę samą relację między częścią wzmacniającą i odpędową rektyfikatora.

4.5. Wyznaczanie rzeczywistych profili kolumn, w którym przedstawiono propozycję wykorzystania opracowanego modelu obliczeniowego dla określenia ilości pól w rzeczywistym rektyfikatorze. W założeniach Autorki, zaproponowane rozwiązanie umożliwia wyznaczenie rzeczywistych profili kolumn rektyfikacyjnych.

Kolejny **rozdział 5** dotyczy propozycji optymalizacji aparatu rektyfikacyjnego pod kątem zmniejszenia zużycia energii. Został on podzielony na 2 podrozdziały, w których rozpatrywano:

5.1. Rozdział termiczny substancji poniżej temperatury otoczenia, gdzie rozpatrywano realizację procesu rozdziału substancji w warunkach termicznych niższych od temperatury otoczenia. Wymiennik ciepła i masy jest częścią integralną sprężarkowego obiegu chłodniczego. Rozpatruje się tu optymalizację pracy układu chłodniczego przy jak najmniejszym zużyciu energii mechanicznej stosowanej do napędu sprężarki zarówno w stanie gdy skraplacz eksploatowany jest powyżej temperatury otoczenia jak i poniżej. Podano propozycję analizy egzergetycznej dla tych dwóch stanów termodynamicznych. Określono funkcję celu, dla której wyznaczono minimalne zużycie energii mechanicznej do napędu sprężarek obiegu chłodniczego. Przyjęto, że zmienne decyzyjne to ciśnienia w części wzmacniającej i odpędowej układu do termicznego rozdziału substancji.

5.2. Rozdział termiczny substancji powyżej temperatury otoczenia, w którym zaproponowano metodę obliczeniową dla stanu, w którym substancje są rozdzielane w temperaturze wyższej od otoczenia. W stanie tym uwzględnia się umiejscowienie wymiennika ciepła w układzie zasilanym przez ciepło systemowe, a w tym przypadku elektrociepłownię. Założeniem podstawowym jest parametr ciśnienia takie, aby zużycie energii pierwotnej w układzie skojarzonym było jak najmniejsze. Autorka zaproponowała, metodę określenia zużycie energii pierwotnej w gospodarce skojarzonej na podstawie funkcji celu, przy założeniu zmniejszenia strumienia egzergii zewnętrznej. Minimum tej funkcji odpowiada najmniejszemu zużyciu energii pierwotnej przy ciśnieniu jako zmienna decyzyjna, określonym w części wzmacniającej i odpędowej układu do termicznego rozdziału substancji.

Rozdział 6, w którym Autorka przedstawiła schematycznie algorytm obliczeniowy wyznaczania profili kolumn. Dodatkowo w rozdziale tym został umieszczony opis metodologii przeprowadzonych obliczeń numerycznych oraz założeń, na których został on oparty.

Rozdział 7, to część opracowania, w którym Autorka starała się przedstawić wyniki przykładowych obliczeń uzyskanych na podstawie opracowanego modelu fizycznego i matematycznego. Podzielono go na 4 podrozdziały, w których ujęto:

7.1. Obliczenia energetyczne dla układu według nowej technologii, gdzie przeprowadzono obliczenia dla dobranych ciśnień w części wzmacniającej oraz odpędowej kolumn rektyfikatora.

7.2. Obliczenia energetyczne dla układu według technologii stosowanej w przemyśle, gdzie przeprowadzono obliczenia dla dobranych ciśnień w części wzmacniającej oraz odpędowej rzeczywistych kolumn rektyfikatora stosowanych w przemyśle.

7.3. Obliczenia cieplno-przepływowe aparatu według nowej technologii, gdzie podano podstawowe zależności korelacyjne wykorzystane w obliczeniach cieplno-przepływowych rektyfikatora.

7.4. Wyznaczenie liczby pólk teoretycznych – rzeczywiste profile kolumny, podano wyniki badań modelowych uzyskanych w programie Fluent. Odniesiono je do możliwych do wystąpienia parametrów rzeczywistych realizacji procesu rektyfikacji w porównaniu z przemianami występującymi w realnych półkach rektyfikatora.

Rozdział 8, to analiza wyników obliczeń, dzięki którym wykazano możliwość zmniejszenia zużycia energii mechanicznej o 9%, przy zastosowaniu proponowanej metody obliczeniowej. Wykazano również znaczącą zgodność uzyskanych wyników z parametrami rektyfikatora rzeczywistego.

Rozdział 9 podsumowanie opracowania oraz ostatni ostateczny to wskazanie **Literatury** zawierającej zaledwie 59 pozycji.

2. Uwagi krytyczne redakcyjne i dyskusyjne do pracy.

Kwestie, które należy wyjaśnić, są następujące:

1. Strona 5 – Streszczenie – Autorka podaje, że siły napędowe niezbędne do wyznaczenia powierzchni wymiany ciepła zdefiniowano jako różnice temperatur pomiędzy częścią wzmacniającą a odpędową w procesie rektyfikacji. – w procesach termodynamicznych różnica Δt temperatury zawsze jest siłą napędową procesu wymiany ciepła ale również i masy, więc określenie to nie jest odkrywcze.
2. Strona 8 – Wykaz oznaczeń – podano wielokrotnie oznaczenie B z dolnymi indeksami jako określenie energii – uważam, że wystarczyło podać to oznaczenie raz, a wyjaśnić znaczenie indeksów dolnych w osobnym podrozdziale.
3. Strona 9 podano U jako współczynnik przenikania ciepła, po czym na stronie 10 dla tej wielkości zastosowano symbol k . Występują tutaj dwa różne oznaczenia tej samej wielkości.
4. Strona 11 – Symbole greckie
 - Δt to różnica temperatury a nie temperatur,
 - μ_c – to współczynnik lepkości dynamicznej cieczy a nie lepkość dynamiczna cieczy,
 - Φ_c^2 – mnożnik Lockharta-Martinellego dla fazy ciekłej a nie dla cieczy.

Ogólne zasady redakcyjne mówią o tym, aby podpisy pod rysunkami były wykonane pismem prostym oraz nie stosuje się kropek na ich końcach.

5. W genezie pracy zabrakło jasnego sformułowania definicyjnego czym jest proces destylacji i rektyfikacji. Z zasady ten pierwszy dotyczy przeprowadze cieczy w stan pary i ponowne skroplenie jednego lub kilku składników mieszaniny w celu ich rozdzielenia lub oczyszczenia.

Proces rektyfikacji rozdziela w sposób ciągły lub okresowy mieszaniny cieczy lub pary przez wielokrotne odparowanie i skroplenie, podczas procesu, gdzie składniki bardziej lotne przechodzą do fazy gazowej, a mniej do fazy ciekłej.

Brak tak prostego wyjaśnienia różnicy między tymi procesami jest znaczącym mankamentem tej części rozprawy.

6. Na stronie 14 przedstawiono schematy ideowe rozpatrywanych układów, bez wyjaśnienia czym jest rebojler. Brak definicji tego elementu układu rektyfikacyjnego jest widocznym niedociągnięciem.
7. Strona 15. Rys. 3 na pewno nie przedstawia profili kolumn, tak jak to podano w podpisie. Co do zasady jest to zależność funkcyjna $T = f(H)$ dla części wzmacniającej i odpędowej.
8. Rys. 4b str. 15 odnosi się do kolumny idealnej, czego nie podano w podpisie.

9. Strona 16 – brak opisu pod rys. 5 – a), b), c).
10. Strona 16, Autorka podaje, że przedstawiono przykładową analizę energetyczną technologii. Analiza energetyczna może być przeprowadzona dla realizacji jakiegoś procesu w celu określenia jego sprawności. Proces taki zazwyczaj jest możliwy do wykonania dzięki zastosowaniu odpowiednich urządzeń.
11. Strona 17 i 18 – bardzo ubogi opis rys. 6 i 7, zarówno w ich podpisie jak i treści samego opracowania. W tym miejscu moim zdaniem powinien się znaleźć opis proponowanej nowej technologii. Przedstawienie jedynie schematów jest mało czytelne.
12. Strona 18 – w tablicy 1 podano wartości strumienia ciepła przekazywane z układu do sprężakowego obiegu chłodniczego. Dotyczy to dwóch wariantów przedstawionych schematycznie na rys. 6 i 7. Brak jest wyjaśnienia skąd pojawiły się wielkości 5640 [kW] i 2390 [kW].
13. Strona 19 – rozdział 2 – uważam, że w zasadzie od tego rozdziału powinno rozpocząć się to opracowanie. W tej części pracy Autorka umieściła szereg informacji, które wydają się być dyskusyjne, mianowicie:
 - destylacja frakcyjna oznacza, że ma ona na celu uzyskanie szeregu frakcji różniących się składem. Nasuwa się więc tutaj pytanie, jaka jest różnica w zastosowaniu reboilera, brak jest takiego wyjaśnienia.
 - kolejne pytanie, to czy jedynie przepływ przeciwpłdowy jest dostatecznie oddziałującym parametrem, który będzie inicjował proces rektyfikacji?
 - Autorka podaje informację o tym, że w układzie produkt górny powstający za skraplaczem nazywamy destylatem. Pytanie jaki to układ, gdzie jest jego schemat i w którym miejscu znajduje się skraplacz?
 - moim zdaniem stwierdzenie: „*Analizując dotychczasowe rozwiązania przemysłowe można dojść do wniosku, że takie rozwiązanie jest bardzo energochłonne...*”, brzmi jak teza z rozprawy doktorskiej.
14. Strona 20 – z informacji przedstawionych przez Autorkę w tym miejscu wynika, że jedynym mankamentem idealnej kolumny rektyfikacyjnej jest nieskończona liczba pól. Dodatkowo brak w tym miejscu opisu do rys. 8, jak strumień Q wymienianego ciepła miałby być transportowany z części wzmocniającej do odpędowej. Przedstawiono również na tym schemacie sprężarkę, dla której zastosowano ogólnie przyjęty symbol turbiny parowej.
 Autorak użyła określenia: „...zbiór bocznych wymienników ciepła” – jest to zupełnie niezrozumiałe.
 W tym samym miejscu: „...układ składa się z dwóch oddzielnych kolumn rektyfikacyjnych, w których występuje różnica ciśnień między dwiema kolumnami” – moim zdaniem różnica ciśnień dotyczy chyba strumienia masy czynników, a nie kolumn.
15. Strona 21 – brak opisu rys. 9. oraz niewłaściwe oznaczenie proponowanego wymiennika ciepła.
16. Strona 22 – Autorka stosuje określenie „liczba stopni wymiany ciepła” – jest to neologizm w odniesieniu do zagadnień rozpatrywanych w technice cieplnej.
 Autoraka operuje również pojęciem energochłonności, nie podając jej definicji oraz jak odnosi się to do zagadnień przez nią rozpatrywanych. Polecałbym tutaj pozycje literaturowe autorstwa m.in. Jana Szarguta, Wojciecha Stanka oraz Henryka Charuna dotyczące zarówno pojęcia energochłonności jak i analizy energetycznej. W oparciu o te

- publikacje z całą pewnością można stwierdzić, że nergochłonność nie jest „zyskiem energetycznym”, o którym Autorka pisze na str 29 tego opracowania.
17. Strona 24 – rys. 11 – brak opisu dla A, B, C.
 18. Strona 25 – pojawia się zdanie: "*Seader (48, 49) zaproponował układ zintegrowany ciepłnie, gdzie kolumnę podzielono na część wzmacniającą i część odpędową (rys. 13)*" – rzecz w tym, że na rys. 13 tego nie widać.
Podano na tej stronie również informację, że na rys. 15 (str. 26) mamy do czynienia z pompą ciepła – nie jestem w stanie się z tym zgodzić, schemat ten nie przedstawia układu pompy ciepła.
 19. Strona 27 – określenie: „...*konfiguracje przekazywania ciepła...*” – powinno być raczej sformułowane jako: „konfiguracja wielorurowa przekazywania ciepła”.
 20. Strona 29 – Autorka podaje za Congiem, że na rys. 19 przedstawiono integrację ciepłą układu skonfigurowanego z jednej kolumny, wewnątrz której umieszczono zbiorowisko rur, tworzących część wzmacniającą. Moim zdaniem nie jest to integracja, tylko scelenie kilku rur w jednej, co skutkuje zmianą mechanizmu wymiany ciepła.
 21. Strona 30 – rozdział dotyczący postawionej hipotezy, celu i zakresu rozprawy. Zagadnienia do wyjaśnienia:
 - określenie „*przeponowa wymiana ciepła*” jest niewłaściwe, ponieważ w technice cieplnej co do zasady używa się określenia „przenikanie ciepła”,
 - „*teoria oporów cieplnych*” – też jest określeniem, które nie wpisuje się w zagadnienia wymiany ciepła, możemy mówić np. „o uwzględnieniu oporów cieplnych przewodzenia ciepła przez ścianę rurową”,
 - czym jest fizyczny i matematyczny opis nowego typu wymiennika? – czy chodzi o model integracyjny wymiennika ciepła i masy w nowym proponowanym przez Autorkę wymienniku?
 22. Strona 32 – Matematyczny opis – pytanie czego? Uważam, że powinno się podać ten tytuł przykładowo w takim brzmieniu: Model matematyczny proponowanego aparatu rektyfikacyjnego.
Na tej samej stronie podano: „...*zapotrzebowanie na energię mechaniczną przez sprężarkowy obieg chłodniczy...*” chodzi chyba generalnie o energię napędową sprężarki.
 23. Na stronie 33 Autorka przedstawia próbę przeprowadzenia analizy egzergetycznej, co jest słuszne w odniesieniu do rozpatrywanego układu. Podano tutaj propozycję bilansu egzergetycznego opisanego wzorem nr (1). Moim zdaniem należało w tym miejscu wyraźnie opisać poszczególne składniki wchodzące w skład tego wyrażenia.
 24. Strona 34 – rys. 21 brak informacji, że występuje w tym układzie tzw. osłona bilansowa.
 25. Strona 35 – proszę o wyjaśnienie, co dokładnie w tym przypadku oznaczają straty strumienia egzergii δB_{str} . Czy jest to strata egzergii wynikająca z prawa Gouya-Stodoli?
Dalej na tej stronie umieszczono równanie (6) – czy ten zapis ma wg oceny Autorki odpowiadać bilansowi energii układu przedstawionego na rys. 20 czy 21?
 26. Strona 37 – podrozdział 4.1. nie został w żaden sposób podsumowany, a w zasadzie Autorka nie podał w jakim celu przeprowadzono całą przedstawioną analizę. Brak części finalnej.
 27. Strona 38 – rys. 22 – powinno być osłona a nie otoczka bilansowa.
 28. Strona 39 – na rys. 23 i 24 brak elementarnych opisów krzywych przemian fazowych oraz co oznaczają $T_n, T_{n-1}, T_k, T_{k-1}$ itd.
 29. Strona 40 i 41 – brak opisu wielkości, które zastosowano w opisach matematycznych.

30. Strona 42 – rozdział 4.3. Profile kolumny – bardzo niezrozumiały tytuł. Z treści tej części opracowania wynika, że powinien on być zattulowany np. *Propozycja modelowania kolumn rektyfikatora*.
31. Strona 43 – Autorka podaje, że: „Przyjęto w dowolnym punkcie stan równowagi między oparami i cieczą...”. Zasady termodynamiki oraz wymiany ciepła wyraźnie mówią, że nie można przyjąć stanu równowagi w dowolnym punkcie układu, ponieważ pojęcie to jest jednoznacznie zdefiniowane dla układu izolowanego (odosobnionego). W rozpatrywanym przez Autorkę przypadku mamy natomiast do czynienia z układem w stanie ustalonym a nie równowagowym.
32. Strona 44 i rys. na str. 45 - niestety Autorka nie wskazała dokładnie co rozumie pod nazwą profile kolumny, czytelnik tego opracowania na rys. 26 widzi wykres zależności $T = f(H)$, więc pytanie gdzie tutaj są owe profile?
33. Strona 46 – rys. 27 – opis sugeruje, że jest to ilustracja wymiany ciepła częścią wzmacniającą a odpędową rektyfikatora. Osobiście nie widzę tej wymiany, brakuje symboli strumieni ciepła, kierunku jego przepływu itd.
34. Strona 47 – Autorka pisze ponownie o wykorzystaniu teorii oporów cieplnych. W rzeczywistości jest to próba wykorzystania równania przenikania ciepła w rekuperatorze. W takim stanie należało opisać to przykładowo:
- $$\frac{1}{k_c} = R \text{ – opór przenikania ciepła,}$$
- $$\frac{1}{\alpha_o} = R_{\alpha_o} \text{ – opór przejmowania (wnikania) ciepła.}$$
35. Strona 49 – podrozdział 4.5 – w zasadzie czytelnik może odnieść wrażenie, że ten podrozdział zaproponowany przez Autorkę nie został zakończony bezpośrednimi wnioskami.
36. Strona 50 – rozdział 5 dotyczący optymalizacji proponowanego rozwiązania modelowego. Moim zdaniem brakuje tutaj schematu obliczeń, co sprawia, że czytelnik tego opracowania musi poczuć pewien niedosyt. Na stronie 50 Autorka pisze, że należy tak dobrać parametry termodynamiczne, aby zużycie energii było minimalne. Tymczasem kończy się podrozdział 5.1. i brak jest jednoznacznej odpowiedzi czy zostało to osiągnięte. Skoro się coś deklaruje, to trzeba spełnić lub tak przedstawić problem, aby nie było tego typu pytań czy też wątpliwości. Uwaga ta dotyczy również podrozdziału 5.2.
37. Strona 55 – rozdział 6 pt. Algorytm obliczeń – pytanie czego? Taką informację należało umieścić w tytule tej części opracowania. Analizując ten rozdział nasuwa się pytanie, czy Autorce chodzi o zastosowanie metody „pinch point?”. W metodzie tej rzeczywiście analizuje się profile rozkładów w układzie współrzędnych $T = f(H)$, natomiast brak jest tutaj takiej informacji.
38. Strona 59 rozdziału 7 z przykładem obliczeniowym. Na stronie 57 Autorka podaje przykładowe dane obliczeniowe, po czym na str. 59 w podrozdziale 7.1 pojawiają się inne. Czego one dotyczą?
39. Strona 60 – rys. 34 ponownie pojawia się określenie, że są to profile kolumn. Moim zdaniem jest to pewna zależność $T = f(H)$, której interpretacji brak w tekście opracowania.

40. Strona 68 – Autorka podaje, że w obliczeniach powierzchni wymiany ciepła wykorzystano profile kolumn z rys. 34 – pytanie w jaki sposób to uczyniono, ponieważ jest to bardzo ciekawe zagadnienie.
41. Strona 74 – Podsumowanie i wnioski – moim zdaniem Autorka redagując te część rozprawy, potraktowała ja zbyt ogólnikowo. Skutkuje to tym, że treść tego rozdziału jest niezbyt trafna w zakresie korespondencji z rozdziałem 3, w którym postawiono hipotezę rozprawy. Brakuje tutaj jednoznacznej odpowiedzi, czy została ona potwierdzona czy też jest falsyfikowana.
42. Ostatnia uwaga dotyczy wykazu literatury, który moim zdaniem jest niezbyt obszerny zważywszy na rozpatrywaną tematykę. Pośród tego wykazu znajdują się tylko 3 pozycje, w których udział ma Autorka opracowania. Osobiście uważam, że brakuje w tym wykazie bardzo ważnych pozycji ściśle związanej z tematem rozprawy, chociażby takich jak:
- Brodowicz Kazimierz: *Teoria wymienników ciepła i masy*. PWN Warszawa 1982.
 - Szargut Jan, Petela Ryszard: *Egzergia*. WNT Warszawa 1965.
 - Szargut Jan: *Egzergia. Poradnik obliczenia o stosowania*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej Gliwice 2007.
 - Praca zbiorowa pod redakcją Bibrowski Zdzisław: *Energochłonność skumulowana*. PAN Instytut Podstawowych Problemów Techniki. PWN Warszawa 1983.
 - Stanek Wojciech: *Analiza egzergetyczna w teorii i praktyce*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej Gliwice 2016.
 - Charun Henryk: *Podstawy gospodarki energetycznej w zarysie. Tom 1*. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej Koszalin 2014.

Uwaga ta jest zarazem wskazówką dla Autorki na przyszłość, w jej dalszej działalności naukowej.

3. Ocena pracy i wniosek końcowy

Biorąc pod rozwagę uwagi przedstawione powyżej stwierdzam, że mimo wielu zastrzeżeń o charakterze redakcyjnym przedstawiona mi do recenzji praca może stanowić rozprawę doktorską. Wynika to przede wszystkim z rozpatrywanej przez Autorkę tematyki dotyczącej modelowania rektyfikatorów w zakresie optymalizacji ich pracy. Działania takie mają na celu zmniejszenie zużycia napędowej energii i egzergii pierwotnej, co jest szczególnie istotne w odniesieniu do gospodarki krajowej. Należy podkreślić, że Autorka tego opracowania podjęła taką próbę, a uzyskane wyniki odniosła do rzeczywistych, funkcjonujących w przemyśle obiektów. Doktorantka wykazała się również inwencją twórczą w realizacji rozprawy doktorskiej i samodzielnością w rozwiązaniu postawionego zagadnienia.

Podsumowując stwierdzam, że opracowanie spełnia w podstawowym zakresie warunki stawiane pracom doktorskim, zgodnie z wymogami określonymi w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki.

W oparciu o powyższe stawiam wniosek o skierowanie rozprawy doktorskiej mgr inż. Sandry Storczyk do publicznej obrony.

