

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Jakuba Niechciała
pt. „*Separacja ^3He z ciekłego ^4He w oparciu o efekt termomechaniczny*”

1. Informacje ogólne

Praca wykonana została na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej pod kierunkiem promotora dr hab. Wojciecha Kempnińskiego, prof. IFM PAN oraz promotora pomocniczego dr inż. Jarosława Polińskiego.

Recenzję opracowano w oparciu o decyzję Rady Wydziału Mechaniczno-Energetycznego PWr z dnia 27.02.2019 r.

Praca doktorska została przedstawiona na 169 stronach i zawiera dwanaście rozdziałów, które poprzedza spis treści, kończy wykaz rysunków oraz tabel. Dysertacja zawiera 130 pozycje rysunków, 35 pozycji tabel oraz wykaz literatury - 91 pozycji.

2. Omówienie treści pracy

Pracę rozpoczyna spis treści. W obszernym rozdziale pierwszym (25 stron), zatytułowanym *Wstęp*, w podrozdziale 1.1 *Problemy energetyczne świata*, Autor stwierdza, że roczna konsumpcja energii systematycznie rośnie i w 2018 osiągnęła około 14 000 Mtoe. Około 85% energii pochodzi ze spalania węgla, ropy naftowej oraz gazu ziemnego, 15% jest produkowane przez elektrownie atomowe, następnie wodne oraz farmy wiatrowe. Podrozdział ten Doktorant kończy stwierdzeniem, że izotop helu ^3He może w przyszłości stać się paliwem zasilającym reaktory termojądrowe. Obecnie izotop ten ma bardzo szerokie zastosowanie w chłodnictwie, kriogenice, medycynie oraz fizyce. W podrozdziale 1.2 zatytułowanym *Wybrane zastosowania izotopu ^3He w nauce i technice* zostały opisane główne obszary zastosowania ^3He . I tak, ze względu na nietypowe właściwości, analizowany izotop helu znajduje następujące zastosowania: w detekcji materiałów radioaktywnych, w rezonansie magnetycznym, w chłodziarkach

rozcieńczalnikowych, do uzyskania niskich temperatur wykorzystując efekt Pomeranczuka.

W podrozdziale 1.3 zostało opisane, w jaki sposób w chwili obecnej pozyskiwany jest ^3He . Autor wyróżnił i opisał cztery metody:

- a. Rozpad promieniotwórczy trytu w głowicach termojądrowych,
- b. Bombardowanie litu,
- c. Wykorzystanie zjawiska termodyfuzji,
- d. Przyszłościowa metoda związana z reakcją syntezy termojądrowej.

Następnie w podrozdziale 1.5 pt. *Metody separacji ^3He z ^4He* , Autor przedstawia techniki separacyjne wykorzystywane do uzyskiwania izotopu ^3He z ^4He . W podrozdziałach od 1.5.2 do 1.5.5 objaśnia kilka powszechnie stosowanych procesów separacji, takich jak:

1. Separacja klasyczna z wykorzystaniem membran (podrozdział 1.5.2),
2. Membrany grafenowe do separacji helu w wysokich temperaturach (podrozdział 1.5.3),
3. Klasyczna separacja izotopów helu w obszarze niskich temperatur (podrozdział 1.5.4),
4. Metody kriogeniczne pozyskiwania ^3He poprzez separację kwantową (podrozdział 1.5.5).

Rozdział 1.5 podsumowuje podrozdziałem 1.5.6 *Perspektywy pozyskiwania ^3He z helu uzyskiwanego z gazu ziemnego w Polsce*, w którym stwierdza, że na terenie Polski w Oddziale PGNiG w Odolanowie istnieje instalacja odzysku helu ze złóż gazu ziemnego znajdujących się w tym rejonie. W 2017 r produkcja helu z tej instalacji wyniosła 3,17 mln m³ helu i potencjalnie istnieje szansa uzyskiwania ^3He .

W rozdziale 2 dysertacji Autor formułuje cel, tezę i zakres pracy. Moim zdaniem cel jest zdefiniowany klarownie i rzeczowo: *Celem omawianej pracy było wzbogacenie mieszaniny $^4\text{He}/^3\text{He}$ w izotop ^3He przy użyciu filtrów entropowych z wykorzystaniem zjawiska nadciężkości ^4He* . Dalej zostało opisane, jak ten cel osiągnięto. Teza pracy, przedstawiona w podrozdziale 2.2, jest także prawidłowo zdefiniowana spełniając wymagania stawiane pracom doktorskim. Autor postuluje, że *możliwa jest separacja ^3He z ciekłego ^4He przy użyciu zjawiska termomechanicznego z wykorzystaniem*

nowoczesnych nano-materiałów jako filtrów entropowych w procesach statycznej i ciągłej separacji.

Dość lakonicznie został natomiast nakreślony zakres pracy doktorskiej. Z rozdziału 2.3 dowiadujemy się m.in., że praca powstała w ramach programu Innotech, prowadzonego przez Konsorcjum Naukowe IFM PAN – PGNiG SA Oddział w Odolanowie i Politechnikę Wrocławską w latach 2012-2016.

Dalszą część dysertacji Autor podzielił na cztery główne części:

- I. Wybrane Zagadnienia Teoretyczne – 29 stron,
- II. Część Eksperymentalna – 65 stron,
- III. Dyskusja Wyników i Wniosków – 15 stron,
- IV. Dodatki – 15 stron.

W pierwszej części w rozdziale 3 Doktorant prezentuje *Wybrane zagadnienia dla nadciężkiego helu ^4He* . W podrozdziale 3.1 wprowadza czytelnika w kwestie stanu nadciężkości opisując tzw. przemianę lambda, poprzez pokazanie zmiany ciepła właściwego, entropii i entalpii właściwej w funkcji temperatury w zakresie temperatur od ~ 0 do 4 K. Nadmienia także, że hel nadciężki charakteryzuje się wysoką wartością przewodnictwa cieplnego, pomijalną wartością lepkości oraz unikalnym oporem występującym pomiędzy ciałem stałym a cieczą zwanym oporem Kapicy.

W podrozdziale 3.2 Autor opisuje model fenomenologiczny zaproponowany po raz pierwszy przez Laszlo Tiszę, a następnie kontynuowany i rozwinięty przez Landaua i Lifszycyca. Analiza danych doświadczalnych Andronikaszwiliego doprowadziła Tiszę do modelu dwupłynowego, który zakłada, że hel nadciężki jest mieszaniną dwóch faz: nadciężkiej i normalnej. Faza normalna maleje, a nadciężka rośnie w trakcie ochładzania helu nadciężkiego. Teoretycznie w okolicach 0 K faza normalna powinna zaniknąć, „przekształcając” się w hel nadciężki.

Rozdział kończy się opisem efektu mechanokalorycznego i fontannowego (podrozdział 3.3). Warto podkreślić, że są zamieszczone w rozdziale rys. 3.9 oraz 3.22, gdzie zwizualizowano efekt mechanokaloryczny oraz fontanny wykorzystując do tego opracowany i wykonany w Zakładzie Fizyki Niskich Temperatur PAN specjalny „szklany” kriostat.

W rozdziale 4 pt. *Pozyskiwanie izotopu ^3He ze skroplonego ^4He* (6 stron) Doktorant przedstawia wybrane konstrukcje do pozyskiwania ^3He . W *Podsumowaniu* (podrozdział 4.2) tego rozdziału stwierdza, że w kriogenicznych metodach mimo różnorodności rozwiązań technicznych można wyróżnić następujące cechy wspólne urządzeń:

1. Aby odseparować ^3He z ^4He należy stosować metody o dużej liczbie perkolacji,
2. *Temperatura procesu rozdziału mieszaniny jest stabilizowana poniżej przemiany λ ,*
3. W większości przypadków wykorzystuje się do tego celu efekt fontannowy.

Rozdział ten definiuje dalszą drogę badań prowadzonych przez Doktoranta.

Kolejny rozdział 5 dotyczy filtrów entropowych. W podrozdziale 5.1 pt. *Zjawiska kwantowe występujące w filtrach entropowych*, Autor przedstawia podział przepływów charakterystycznych występujących w filtrach entropowych. Przepływy te można podzielić na dwa obszary: laminarny (opisany równaniem Londona) oraz turbulentny. Także w tej części dysertacji Doktorant opisuje charakterystyczne stany energetyczne, tzw. wzbudzenia energetyczne zwane fononami i rotonami.

Filtry entropowe są tematem podrozdziału 5.2. Elementy te wykonane w formie proszkowej lub z materiału porowatego służą do *zatrzymania składowej normalnej*. Autor w niniejszym rozdziale przeprowadza dogłębny przegląd literaturowy zastosowanych materiałów badanych w wiodących ośrodkach naukowych na świecie. Analizuje też zakresy temperaturowe, strumienie ciepła, długości elementu filtrującego oraz zakresy stosowanych średnic porów. Definiuje podstawowe parametry służące do dalszej analizy struktury filtrów, są nimi: spadki ciśnienia (wzór 5.2), współczynnik krętości (wzór 5.3) oraz pole efektywnego przepływu (wzór 5.4).

W dalszej części dysertacji w rozdziale 5.3 pt. *^3He jako składowa normalna* opisano, jak można zwiększyć stężenie ^4He w mieszaninie wykorzystując do tego różnice temperatur i generowany ruch konwekcyjny helu.

Rozdział 5.4, dotyczy wpływu rozmiarów porów filtra entropowego na przepływ nadciekłego ^4He . Przytoczone są doświadczenia naukowców z Japonii (Nakai H.), Francji (Allain H.) oraz ze Stanów Zjednoczonych (Vanderrlaan M.H., Van Sciver),

którzy zajmowali się badaniami przepływów głównie w materiałach porowatych. Ten fragment pracy został podsumowany w podrozdziale 5.5.

W rozdziale 5.6 Autor uzasadnił wybór materiału do badań wzrostu stężenia ^3He w mieszaninie $^3\text{He}/^4\text{He}$. W wyniku analiz Doktorant wyselekcjonował trzy potencjalne materiały:

1. Wielościenne nanorurki węglowe (MWCNTs) z dekoracją tlenkiem cyrkonu ZrO_2 w postaci zwartej pastylki;
2. Wielościenne nanorurki węglowe (MWCNTs) z dekoracją tlenkiem żelaza FeO_4 w postaci zwartej pastylki;
3. Nadprzewodnik wysokotemperaturowy (YBCO-123) w postaci proszku o średniej ziarnistości 10 μm .

II Część Eksperymentalna

Na początku rozdziału 6 dysertacji Autor opisuje badane materiały oraz metodologię badań. W rozdziale 6.1, pt. *Ogólna charakterystyka przebiegu prac eksperymentalnych*, Doktorant przedstawia procedury doświadczalne, które podzielił na trzy główne etapy.

1. Etap pierwszy to badania gazoprzepuszczalności w funkcji czasu analizowanych filtrów.
2. Etap drugi - pomiary objętościowego przepływu helu w funkcji mocy. W czasie badań wykorzystano efekt termomechaniczny.
3. Dwustopniowy etap trzeci, w którym określono skuteczność filtracji poprzez pomiar stężenia izotopu ^3He przed i za filtrem.

Rozdział 6.2 traktuje o *Materiałach dla filtrów entropowych*. W pierwszej kolejności scharakteryzowano wielościenne nanorurki węglowe dekorowane tlenkiem cyrkonu i tlenkiem żelaza (rozdział 6.2.1), następnie w rozdziale 6.2.2. trzeci badany materiał, czyli *Nadprzewodnik wysokotemperaturowy YBCO-123.*, opisano. Rozdział 6 kończy się *Podsumowaniem*, w którym Autor porównał wielościenne nanorurki z różną dekoracją z nadprzewodnikiem wysokotemperaturowym.

Badania gazoprzepuszczalności filtrów entropowych zostały przedstawione w rozdziale 7. Jak stwierdzono w podrozdziale 7.1, pt. *Cel i metodologia badania gazoprzepuszczalności*, badania przeprowadzono na dwóch stanowiskach pomiarowych,

według procedury składającej się z trzech kroków. Na pierwszym stanowisku testowano głównie nanorurki węglowe, na drugim nadprzewodnikowy filtr proszkowy. Badania zostały wykonane w celu:

1. *Oceny stanu struktury wewnętrznej i zewnętrznej.*
2. *Oceny efektywności przepływu gazów poprzez porównanie przepływu powietrza oraz helu.*
3. *Oceny współczynnika oporu przepływu.*

Autorski algorytm obliczeniowy służący do analizy oporności przepływu w objętości kontrolnej, pokazano w rozdziale 7.2. Wyniki badań z użyciem oporu przepływu opisano w rozdziale 7.3. Badania wykazały, że nanorurki węglowe charakteryzują się większym oporem przepływu w stosunku do nadprzewodnika wysokotemperaturowego. Opór przepływu, a właściwie czas napełnienia zbiornika, zależy także od użytego czynnika roboczego. Co było do przewidzenia, dla powietrza jest dłuższy o około 25%. *Podsumowanie* badań Autor przedstawił w rozdziale 7.4.

Procedurę *Przygotowania filtrów entropowych do badań* Doktorant opisał szczegółowo w rozdziale 8. Pierwsze dwa filtry wykonane z nanorurek węglowych z dekoracją Fe_3O_4 oraz ZrO_2 , podlegały tej samej procedurze przygotowawczej (rozdział 8.1.1). W związku z tym, że trudniej jest przygotować próbkę filtra z nadprzewodnikiem wysokotemperaturowym niż z nanorurek węglowych, został opracowany specjalny uchwyt, w którym umieszczano proszek nadprzewodnika.

Przygotowanie filtrów do badań skuteczności filtracji przeprowadzono na dwóch stanowiskach doświadczalnych określanych jako *laboratoryjne* (rozdział 8.2) oraz *separator półprzemysłowy* (rozdział 8.3).

Po omówieniu procedur przygotowawczych filtra, Autor dysertacji w rozdziale 9 opisał stanowiska pomiarowe wykorzystane w czasie badań. Pierwsze stanowisko pomiarowe do badania wydajności filtrów entropowych (rozdział 9.1) przedstawiono w podrozdziale 9.1.1. Składało się ono z podwójnego szklanego dewara (część urządzenia wypełniona płaszczem azotowym), wstępnej pompy próżniowej typu Scroll, pompy turbomolekularnej oraz układu grzewczego. Po procedurach wychłodzenia dewara do badań pozostało około 0.5 l helu.

Procedura przeprowadzenia pomiarów efektu termomechanicznego w nadciekłym ^4He (rozdział 9.1.2) była wykonana w pięciu etapach/stopniach pomiarowych, które są standardowymi procedurami stosowanymi w tego typu pomiarach.

*W podrozdziale 9.1.3, zatytułowanym *Wyniki pomiarów wydajności objętościowej filtrów entropowych*, przeanalizowano doświadczalne rezultaty wydajności objętościowej badanych filtrów w funkcji deponowanej mocy. Autor stwierdził, że *wartość wydajności objętościowej dla filtra YBCO-123 jest niemal o rząd wielkości mniejsza niż w przypadku czystych i dekorowanych nanorurek węglowych* oraz że *wraz ze zwiększeniem mocy cieplnej odkładanej na elemencie oporowym, zwiększa się wysokość fontanny nadciekłego helu.**

Stanowisko badawcze do analizy skuteczności filtrów entropowych zostało opisane w rozdziale 9.2, podrozdziale 9.2.1. Kriostat składał się z czterech podstawowych elementów: spiralnego wymiennika ciepła zakończonego kapilarą, kanału odprowadzającego odfiltrowany ciekły hel, filtra entropowego oraz oprzyrządowania pomiarowego w postaci termometrów i czujników ciśnienia. Bezpośrednio do kriostatu został podłączony spektrometr i system odzysku helu. W kriostacie zamontowano w sumie cztery czujniki temperatury: dwa firmy Cernox (1050 oraz 1010), jeden typu AB oraz jeden typu German. Na omawianym stanowisku Doktorant umieścił również trzy różnicowe czujniki ciśnienia: jeden w zbiorniku 25 LHe (przed filtrem entropowym), drugi na wymienniku, trzeci w obszarze za filtrem entropowym.

Kolejna część rozdziału dotyczyła *Przebiegu eksperymentu* omówionego w rozdziale 9.2.4. Autor ze szczegółami opisuje, jak przebiegał proces schładzania kriostatu od temperatury pokojowej do 1.8 K. Analizuje czasy poszczególnych etapów w układzie pomiarowym zbiornika 25 LHe, straty helu podczas przelewania z dewara do kriostatu, proces ochładzania układu do temperatury T_λ , przemianę fazową T_λ oraz chłodzenie od temperatury T_λ do temperatury filtracji.

Opis separatora półprzemysłowego Doktorant umieścił w rozdziale 9.3. W podrozdziale 9.3.1 omówiono poszczególne elementy tego kriostatu skonstruowane i wykonane w ramach działalności konsorcjum IFM PAN – Politechnika Wrocławska – PGNiG. W podrozdziale 9.4 Autor podsumował i porównał opisane wcześniej stanowiska badawcze.

Całość badań została zreasumowana w rozdziale 10 pt. *Wyniki badań stężenia izotopu ^3He w mieszaninie $^3\text{He}/^4\text{He}$* . W podrozdziale 10.2 przedstawiono badania stężenia izotopu ^3He w mieszaninie $^3\text{He}/^4\text{He}$ uzyskane dla filtra entropowego wykonanego z nanorurek węglowych dekorowanych Fe_2O_3 . Doktorant pokazał, jak zmienia się stężenie ^3He w zależności od czasu eksperymentu oraz zaprezentował widma uzyskane na spektrometrze masowym dla stanowiska separatora przemysłowego na początku i końcu procesu. Podobne badania pokazano dla filtra wykonanego z nanorurek węglowych dekorowanych ZrO_2 (podrozdział 10.3). Skuteczność pracy filtra entropowego wykonanego z proszkowanego nadprzewodnika wysokotemperaturowego YBCO-123 Autor przedstawił w podrozdziale 10.4

III Dyskusja Wyników i Wniosków

Rozdział 11 dotyczył dyskusji wyników badań. W pierwszym podrozdziale 11.1 podsumowano otrzymane wyniki badań, następnie w podrozdziale 11.2 Autor przedstawił *Wykaz osiągnięć zrealizowanych w obszarze eksperymentu*. Dodatkowo została przeanalizowana opłacalność ekonomiczna procesu separacji kriogenicznej ^3He i ^4He oraz rekomendacje kolejnych etapów badań.

Główną część dysertacji zamyka rozdział 12, w którym Doktorant zawarł 6 głównych wniosków wynikających z badań.

IV Dodatki

Na zakończenie pracy, w tzw. dodatkach, zostały opisane oscylacje ciśnienia w nadciężym helu, użyty w czasie badań spektrometr mas oraz procedura pomiaru stężenia izotopu w mieszaninie $^3\text{He}/^4\text{He}$.

Całość pracy zamyka bibliografia, spis rysunków oraz tabel.

3. Ocena pracy

3.1. Wybór tematu rozprawy

Izotop helu ^3He jest niewątpliwie nadzieją ludzkości. Dzięki niemu będzie możliwe uzyskanie „nieograniczonego” dostępu do tzw. czystej energii, wykorzystując go jako paliwo w reakcji termojądrowej. Podczas fuzji termojądrowej to właśnie reakcja ^3He

z deuterem generuje największą ilość energii wynoszącą 18.4 MeV. Z doniesień prasowych wiadomo, że Państwa dysponujące zaawansowaną technologią z obszarów kosmicznych planują w najbliższym czasie eksploatować Księżyc pod kątem wydobycia tego izotopu. Także inne zastosowania, np. w detektorach materiałów radioaktywnych, w rezonansie magnetycznym, do uzyskiwania ekstremalnie niskich temperatur w chłodziarkach rozcieńczalnikowych, , pokazują jak ważny i atrakcyjny jest ten izotop także z praktycznego punktu widzenia. Dlatego każda nowa metoda, która prowadzi do uzyskania tej substancji jest warta analiz i prac naukowo-badawczych.

Autor niniejszej dysertacji postawił sobie za cel opracowanie takiej metody. Cel swoich badań zdefiniował w trzech punktach opisanych w rozdziale 2 pt. *Cel, teza i zakres pracy*:

1. *Opracowanie koncepcji filtracji na podstawie podstawowych zjawisk fizycznych wyprowadzonych z dwupłynowego modelu Tiszy oraz równania Londona, stanowiących podstawę działania filtrów entropowych.*
2. *Opracowanie metody oraz procedur określania wydajności i skuteczności filtracji materiałów filtrów entropowych.*
3. *Określenie charakterystyki opłacalności procesu filtracji.*

Nowatorskie podejście do problemu potwierdzone otrzymaniem grantu z NCBiR'u w ramach programu *Innotech*, bardzo duże zaawansowanie technologiczne prowadzonych w ramach doktoratu prac, ilość wykorzystanych stanowisk badawczych oraz kompleksowość technik pomiarowych stanowią wielkie atuty tej rozprawy. Uważam również, że wybór tematu pracy doktorskiej jest trafny i ważny z naukowego oraz przede wszystkim z aplikacyjnego punktu widzenia. Temat stworzył także możliwość wykazania się umiejętnościami technicznymi i badawczymi.

3.2. Metodologia prowadzonych badań

Warsztat Doktoranta związany był głównie z badaniami doświadczalnymi. Należy podkreślić, że badania w niskich temperaturach są trudne, gdyż każdy błąd (przecieki, wadliwie zamontowany czujnik temperatury, nieprawidłowo przygotowana próbka filtra) kosztuje znaczne straty/opóźnienia czasowe. W związku z tym niezbędne jest

systematyczne podejście do badań, opracowanie procedur pomiarowych i duże doświadczenie eksperymentalne. Opisy prowadzonych badań w dysertacji potwierdzają umiejętności i zaangażowanie Doktoranta w prace laboratoryjne.

3.3. Ocena wyników badań

Uważam, że praca stanowi ważny wkład w światowe badania nad pozyskiwaniem ^3He z mieszaniny $^3\text{He}/^4\text{He}$. Do najważniejszych jej osiągnięć, podsumowanych przez Doktoranta w rozdziale 12 pt. *Wnioski* zaliczam:

- Wyznaczenie podstawowych parametrów pracy filtra, niezbędnych do uzyskania założonej wydajności oraz wymaganej mocy grzałki koniecznej do stabilizacji procesu.
- Udowodnienie, że nie można wzbogacić mieszaniny w ^3He z wykorzystaniem *procesu chłodzenia opartego na obniżeniu ciśnienia nad powierzchnią całej objętości cieczy.*
- Dowiedzenie, że zastosowane filtry entropowe mogą z powodzeniem być używane do separacji izotopu helu.
- Pokazanie na instalacji półprzemysłowej, że możliwa jest ciągła separacja ^3He za pomocą filtra składającego się z nanorurek węglowych dekorowanych materiałem magnetycznym Fe_3O_4 .
- Przeprowadzenie analizy ekonomicznej i stwierdzenie, że *opłacalność separacji ^3He metodą niskotemperaturową silnie zależy od jego wyjściowej koncentracji, (...) dobrym rozwiązaniem powinno być połączenie procesu filtracji kwantowej (...) z rektyfikacją niskotemperaturową prowadzoną na materiale o niskim przewodnictwie cieplnym.*

3.4. Uwagi krytyczne

1. Dysertacja składa się z 169 stron w tym 26 stron to opis wyników badań doświadczalnych. Uważam, że praca powinna bardziej skupiać się na analizie postawionego problemu niż na opisach standardowych kriogenicznych procedur badawczych, np. formowanie uszczelki indowej, lub opisanie frontu λ w czasie wychładzania kriostatu.

2. Ze względu na fakt, że dysertacja ma charakter doświadczalny należałoby umieścić w niej rozdział związany z analizą błędów badanych parametrów.
3. W pracy pokazano charakterystykę prądowo – ciśnieniową różnicowego czujnika ciśnienia (rys. 9.13) . Bardziej interesujące z punktu widzenia praktycznego byłoby przedstawienie charakterystyki rezystancyjno – temperaturowej użytych czujników temperatury. Czy wykonywano kalibrację czujników?
4. Jak wyglądała stabilizacja temperatury w używanych kriostatach poniżej T_{λ} ?
5. W pracy brakuje moim zdaniem dokładniejszego opisu procesów zachodzących w materiałach porowatych, modelu matematycznego, analiz teoretycznych oraz porównań z wynikami doświadczalnymi. Czy takie analizy były prowadzone w ramach doktoratu?
6. W pracy do końca nie wyjaśniono ile próbek poszczególnych filtrów entropowych było wykonanych i testowanych. Jak z powtarzalnością produkcji?
7. Czy były testowane filtry o różnych parametrach gazoprzepuszczalności? Czyli czy w czasie badań była możliwość kontroli porowatości badanych filtrów?

3.5. Uwagi redakcyjne

W pracy występują błędy składniowe oraz redakcyjne, na które zwrócono bezpośrednio uwagę Autorowi. Przed dalszym rozpowszechnianiem pracy błędy te powinny zostać wyeliminowane, a pewne fragmenty przerezegowane.

4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę przedstawione wyżej opinie uwzględniające wybór tematu rozprawy, sposób jego analizowania, osiągnięte wyniki i zastosowane metody badawcze, stwierdzam, że Pan mgr inż. Jakub Niechciał wykazał, że jest naukowcem dojrzałym, o dużym doświadczeniu badawczym. Stwierdzam także, że posiadana wiedza oraz umiejętności pozwalają Mu na prowadzenie badań w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie energetyka, dlatego też spełnia warunki do ubiegania się o stopień doktora nauk technicznych.

Wnoszę, zgodnie z Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z 14. 03. 2003 r., o dopuszczenie Go do obrony pracy i nadanie stopnia doktora nauk technicznych.



Dr hab. inż. Sławomir PIETROWICZ, prof. uczelni