

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Chomiaka:**

***Sorbenty na bazie mieszanych tlenków cynku, żelaza i tytanu do usuwania siarkowodoru z gorącego gazu ze zgazowania węgla***

**A. OCENA TEMATYKI PODJĘTYCH BADAŃ**

Wzrost efektywności i minimalizacja oddziaływania na środowisko naturalne technologii energetycznych jest jednym z najważniejszych priorytetów rozwoju współczesnego świata. Do podstawowych węzłów oczyszczania gazów ze zgazowania węgla należy odsiarczanie. Usuwanie związków siarki jest konieczne zarówno ze względów środowiskowych jak i technologicznych. Dostępne komercyjne i efektywne technologie odsiarczania gazów procesowych bazują na procesie absorpcji i wymagają istotnego schłodzenia gazu surowego. W efekcie maleje ogólna sprawność całego procesu wytwórczego. Do korzyści z oczyszczania gorącego gazu można zaliczyć zmniejszenie ilości odpadów, jak również zwiększenie wydajności i poprawę konwersji gazu syntetycznego z mniejszą ilością produktów ubocznych. Szczególnie istotne jest to w przypadku układów energetycznych IGCC. Oczyszczanie gazów w wysokich temperaturach pozwala na uniknięcie strat energii związanych z chłodzeniem gazu przed poddaniem go klasycznym metodom oczyszczania, a następnie ogrzewania go przed doprowadzeniem do komory spalania. Szacuje się, iż zastosowanie wysokotemperaturowego odsiarczania gazu może pozwolić nawet na 3% wzrost sprawności układu IGCC. O atrakcyjności procesu świadczy zainteresowanie zagadnieniem na świecie, w tym ilość realizowanych prac badawczych, których liderami są Stany Zjednoczone. W tym kontekście uważam za celowe podjęcie przez Doktoranta badań w przedmiotowej tematyce. Realizacja celów pracy i osiągnięcie założonych efektów pracy pozwoli na istotny rozwój wiedzy w tym obszarze i może stanowić podstawę dla dalszych prac związanych z praktycznymi zastosowaniami. Dotyczy to nie tylko układów wielkoskalowych, ale również instalacji mniejszych - pracujących w rozproszonych układach produkcji energii.

**B. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PRACY**

Recenzowana praca doktorska liczy 161 stron i jest podzielona na 11 rozdziałów, spis skrótów i akronimów używanych w pracy oraz zestawienie dorobku naukowego autora. W rozdziale pierwszym stanowiącym wstęp do pracy Autor dokonuje krótkiego i ogólnego wprowadzenia dotyczącego zagadnień światowej produkcji energii, w tym roli węgla oraz zastosowania procesu zgazowania. Zweryfikowania wymagałaby informacja dotycząca ponad 60% sprawności bloków zintegrowanych ze zgazowaniem węgla – chodzi oczywiście o zintegrowane bloki gazowe (GTCC). Przestrzegam bym również przed jednoznacznym stwierdzeniem o wyższych sprawnościach bloków zintegrowanych ze zgazowaniem węgla nad blokami węglowymi na parametry nadkrytyczne. Ponadto układy IGFC, o których

wspomina autor znajdują się raczej we wczesnej fazie rozwoju – trudno mówić dzisiaj o zastosowaniach komercyjnych w dużej skali.

Rozdział 2 poświęcony został wprowadzeniu do technologii zgazowania. Obejmuje on podrozdziały poświęcone: zagadnieniom surowcowym, chemizmu procesu zgazowania, przemysłową technologią zgazowania, produktom procesu i potencjalnym zastosowaniom wytworzonego w procesie gazu. Wydaje się, że ten rozdział jest nieco za długi, tym bardziej że dotyczy jedynie pośrednio zakresu merytorycznego pracy. Ponadto pewne informacje przedstawiane są w sposób nieprecyzyjny, co może prowadzić do błędnych wniosków. Np. wielokrotnie Doktorant odnosi się do instalacji zgazowania zintegrowanych z ogniwami paliwowymi, jednak są to, jak wspomniałem wcześniej, rozwiązania praktycznie o charakterze koncepcyjnym, czy we wczesnych fazach rozwoju. Nie jest również prawdą, że zawartość rtęci w węglu (w standardowo obserwowanych zakresach) może być podstawą do dyskwalifikacji paliwa do procesu zgazowania. Należy podkreślić, że technologie separacji rtęci z gazów procesowych pochodzących z zgazowania charakteryzują się wysokimi sprawnościami przy relatywnie niskich kosztach inwestycyjnych i operacyjnych (pozostałe uwagi i komentarze do tej części pracy zostały zamieszczone w uwagach szczegółowych do pracy). W rozdziale 3 Autor charakteryzuje w sposób ogólny technologie oczyszczania gazów pochodzących z zgazowania węgla, w tym usuwanie popiołów i smół, konwersję CO (ten proces de-facto nie jest procesem oczyszczania), usuwanie związków siarki, oraz CO<sub>2</sub>. W rozdziale 4 Autor koncentruje się na technologiach odsiarczania gazów procesowych, natomiast rozdział 5 to przegląd wybranych grup wysokotemperaturowych sorbentów H<sub>2</sub>S. Rozdziały 4, a szczególnie 5 stanowią, z punktu widzenia obszaru merytorycznego pracy, podstawę części dotyczącej przeglądu literatury. Zostały one przygotowane w sposób staranny, choć wydaje się, że w przypadku rozdziału 4 można by pominąć (przynajmniej częściowo) informacje dotyczące odsiarczania in-situ (stosowanego głównie w układach kotłów fluidalnych/spalanie i nie zapewniających norm stawianym gazom przeznaczonym do syntezy chemicznej). Z drugiej strony Doktorant nie wspomina na temat chyba obecnie najbardziej rozwiniętej technologii wysokotemperaturowego odsiarczania, rozwijanej w Stanach Zjednoczonych przez Research Triangle Institute (Warm Syngas Cleanup Technology). Ponadto w przypadku rozdziału 5 ogromna ilość przekazanych informacji świadcząca o bogatej wiedzy Doktoranta mogła by zostać podsumowana w postaci pewnego zestawienia porównawczego omawianych sorbentów np. w formie tabelarycznej uwzględniającego ich kluczowe właściwości z punktu widzenia zastosowań w procesie oczyszczania gazu ze zgazowania węgla. Takie podsumowanie mogłoby być przydatne dla jasnej ilustracji potencjału analizowanych sorbentów i być podstawą dla uzasadnienia wyboru materiału do dalszych badań. Autor w prawdzie dokonuje syntetycznego i czytelnego podsumowania części literaturowej (rozdział 6), co jednak nie rekompensuje braku zestawienia charakterystyk omawianych sorbentów. W rozdziale 6 Autor przedstawia również inspirację do podjęcia badań nad sorbentami do wysokotemperaturowego odsiarczania gazów ze zgazowania węgla.

Rozdziały 7 do 9 stanowią o merytorycznej wartości pracy. Dotyczą one celu i metodyki pracy oraz badań eksperymentalnych nad wybraną grupą sorbentów wraz dyskusją i analizą uzyskanych wyników. W rozdziale 7 przedstawiono cel i zakres pracy oraz opisano szczegółowo metodykę prowadzenia badań w tym procedury przygotowania materiałów do badań i prace o charakterze empirycznym. Celem ogólnym pracy było „opracowanie składu i metody wytwarzania sorbentu do usuwania siarkowodoru z gorącego gazu ze zgazowania węgla”. Cel ogólny został uzupełniony o 6 celów szczegółowych. Cel pracy został precyzyjnie



sformułowany i nie budzi zastrzeżeń. Pewien niedosyt budzi uzasadnienie, a właściwie jego brak wyboru do badań przyjętej grupy materiałów sorpcyjnych. Można w prawdzie poszukiwać pewnych podpowiedzi na etapie przeglądu literaturowego, ale wydaje się że powinno to być jasno sprecyzowane na etapie opisu celów pracy/metodyki badawczej. Obszerny opis metodyki badań jest wystarczająco-szczegółowy i obejmuje: przyjęte do badań surowce, preparatykę próbek badawczych oraz metody i techniki badawcze służące do charakterystyki wybranych sorbentów. Drobne uchybienia związane są z brakiem informacji na temat przesłanek wyboru metodyki syntezy sorbentów ziarnistych dla poszczególnych typów sorbentów, oraz nieprecyzyjnego opisu równań 51-53. Rozdział 9 przedstawia wyniki prób eksperymentalnych oraz analizę ich wyników. Jest to zasadnicza i najbardziej rozbudowana część pracy. Na podkreślenie zasługuje ogromny zakres prowadzonych badań oraz ich szczegółowość. Wymagało to od Doktoranta nie tylko dużej wiedzy i umiejętności praktycznych, ale również ogromnego zaangażowania w trakcie realizacji badań naukowych. W trakcie prac badawczych na różnych jej etapach przebadanych zostało kilkadziesiąt różnych kompozycji sorbentów siarki, różniących się składem podstawowym, inertnymi dodatkami, metodą preparacji, lepiszczem czy dodatkiem substancji porogennej. Prace empiryczne nie ograniczyły się jedynie do badań procesu sorpcji, ale objęły również szczegółową charakterystykę wybranych materiałów z wykorzystaniem zaawansowanych technik badawczych. Analizy obejmowały m.in. oznaczenia powierzchni właściwej, objętości porów i ich średniego rozmiaru, porowatości, składu fazowego, wytrzymałości mechanicznej oraz podatność na redukcję wodorem, a także analizę morfologii materiałów badawczych (SEM/EDS).

Ważnym aspektem pracy jest również szczegółowa analiza uzyskanych wyników na każdym etapie realizacji pracy, której celem była nie tylko prosta dyskusja nad uzyskanymi wynikami, ale również próba wyjaśnienia zachodzących zjawisk. Badania objęły kompletny cykl prac naukowych od badań wpływu materiału sorpcyjnego w tym jego składu, metody preparatyki, dodatków w postaci lepiszcza czy substancji zwiększającej jego porowatość po parametry realizacji samego procesu sorpcji i desorpcji związków siarki. Pewne zastrzeżenia budzi brak uzasadnienia wyboru próbek do badań na poszczególnych etapach realizacji pracy, sporadyczne (dwa przypadki) analizowanie badań bez przedstawienia ich rezultatów, czy kolejność prezentacji wyników prac (domieszki Ni i Co). Niewątpliwie niezwykle cennym elementem pracy są badania dotyczące sorbentów monolitycznych. Prace te pozwoliły na zbliżenie się do warunków rzeczywistej eksploatacji sorbentów w układach przemysłowych. Do cennych rezultatów tej części pracy oprócz wyników samej sorpcji należą również wyniki badań i analiza zmian zachodzących w strukturze przestrzennej adsorbenta/złoża. Dodatkowo niezwykle cenne są również doświadczenia związane z procesem wytwarzania, w tym formowania monolitów. Rozdział 10 obejmuje obszerne podsumowanie i wnioski. Podsumowanie w sposób syntetyczny opisuje przeprowadzone badania wraz z głównymi ich wynikami. Rozdział kończy się najważniejszymi wnioskami podkreślającymi najistotniejsze rezultaty pracy o znaczeniu praktycznym.

Bibliografia zawiera 154 pozycje literaturowe. W zamieszczonym w pracy dorobku naukowym autora znajduje się 5 pozycji bezpośrednio związanych z pracą w tym 4 z IF. Doktorant posiada poza tym 5 publikacji nie związanych z pracą (jedna z IF) oraz 4 prace niepublikowane.

## C. OCENA ROZPRAWY

### Uwagi ogólne

*(Część uwag ogólnych zostało zasygnalizowanych w części B recenzji. Najistotniejsze z nich zostały powtórzone w części recenzji dotyczącej uwag ogólnych)*

Recenzowana praca zawiera zadania o charakterze naukowym, w zakresie technologii chemicznej, których rozwiązanie dostarcza wielu niezwykle ważnych informacji o możliwości stosowania sorbentów stałych do wysokotemperaturowego odsiarczania gazów procesowych pochodzących ze zgazowania węgla. Główne kierunki rozwoju technologii zgazowania związane są z podniesieniem efektywności procesowej oraz minimalizacją szkodliwego wpływu na środowisko naturalne. Wysokotemperaturowe odsiarczanie gazów procesowych uważane jest za jeden z priorytetowych kierunków rozwoju zgazowania węgla, zwłaszcza w kontekście zastosowań energetycznych. Technologia ta może przyczynić się do zwiększenia sprawności układu IGCC i wzrostu jego konkurencyjności w stosunku bloków węglowych na parametry nadkrytyczne. Dodatkowo nie generuje ona ciekłych odpadów, co stanowi ważną zaletę również w przypadku zastosowań w małej skali. Podjęta tematyka prac odpowiada kierunkom badawczym realizowanym na świecie, co w powiązaniu z ich ważnym znaczeniem oraz użytecznym charakterem świadczy o celowości podjętych badań.

Praca dostarcza szeregu niezwykle istotnych informacji zarówno o charakterze poznawczym-naukowym jak i praktycznym. Autor przeprowadził niezwykle rozległe badania pozwalające na pełną charakterystykę analizowanych sorbentów. W trakcie realizacji badań przebadano kilkadziesiąt adsorbentów różniących się składem, sposobem wytwarzania czy dodatkami lepiszcza i substancji porogennej. Prace badawcze oprócz badań eksperymentalnych procesu sorpcji, czy desorpcji, objęły również szczegółową charakterystykę wybranych materiałów z wykorzystaniem zaawansowanych technik badawczych. Co niezwykle istotne duża ilość poruszanych wątków badawczych nie wpłynęła na głębokość i szczegółowość przeprowadzonej analizy uzyskanych rezultatów, co jest również ważnym elementem pracy. Istotnym elementem pracy są badania sorbentów monolitycznych, przybliżające możliwość praktycznego wykorzystania rezultatów pracy w skali przemysłowej

Uzyskane w pracy wyniki stanowią cenny materiał dla formułowania nowych kierunków badawczych w rozpatrywanym obszarze merytorycznym i powinny stanowić podstawę dla dalszego rozwoju sorbentów związków siarki, ze szczególnym uwzględnieniem prac zmierzających do praktycznego zastosowań w skali przemysłowej.

Pewnym niedostatkiem pracy jest brak uzupełnienia podsumowania części literaturowej dotyczącej przeglądu wysokotemperaturowych adsorbentów siarki, o zestawienie właściwości omawianych sorbentów, istotnych z punktu widzenia ich zastosowania w procesie zgazowania, co mogłoby stanowić uzasadnienie wybranych do badań materiałów badawczych. W podsumowaniu całej pracy brakuje również oceny właściwości sorpcyjnych opracowanych sorbentów na tle wyników uzyskiwanych na świecie w skali laboratoryjnej i pilotowej. Brakuje również informacji – własnej oceny stanu rozwoju opracowanych sorbentów w kontekście ich zastosowań praktycznych. Interesującą byłaby również dyskusja, czy propozycja kierunków dalszych prac nad rozwojem opracowanych materiałów sorpcyjnych. Przedstawione niedostatki pracy w żadnym względzie nie zmniejszają walorów pracy w tym osiągnięć metodologicznych, poznawczych i wagi głównych rezultatów.



Do najważniejszych wyników o charakterze poznawczym rozprawy zaliczam:

- Badania wpływu i dobór dodatku substancji inertnych do adsorbentów cynkowych i żelazowych dla uzyskania materiałów o optymalnych właściwościach sorpcyjnych
  - Przeprowadzenie badań i identyfikacja podstawowych właściwości fizycznych i składu fazowego analizowanych sorbentów w zależności od:
    - sposobu wytworzenia adsorbentu, dodatków o charakterze porogennym, lepiszcza, czy domieszkowania Ni, Co.
    - Parametrów realizacji procesu adsorpcji i regeneracji
- Wiedza na temat właściwości fizycznych i składu fazowego analizowanych sorbentów w połączeniu z wynikami procesu adsorpcji stanowi podstawę do jego głębszej analizy.*
- Określenie wpływu i optymalnej ilości  $TiO_2$  w sorbencie ZFT na jego właściwości sorpcyjne oraz podatność na spiekanie.
  - Badania wpływu i określenie optymalnych z punktu widzenia procesu adsorpcji:
    - Metody wytwarzania sorbentów
    - Rodzaju i ilości dodatku lepiszcza i substancji porogennej
    - Domieszek Co i Ni
  - Określenie korzystnych z punktu widzenia realizacji procesu temperatur adsorpcji i regeneracji adsorbentu.
  - Wyniki badań procesu adsorpcji w skali wielkolaboratoryjnej w tym:
    - Opracowanie metodyki wytworzenia opracowanego sorbentu ZTC w formie monolitycznej
    - Wyniki badań eksperymentalnych dotyczących właściwości fizycznych sorbentu, składu fazowego oraz właściwości sorpcyjnych, z uwzględnieniem struktury przestrzennej złoża.

Praca została opracowana edytorsko bez istotniejszych usterek.

**Uwagi szczegółowe:**

**Str. 5**

- *„Stwierdzono, że układy poligeneracyjne charakteryzują się wyższą sprawnością (np. 47-57% dla IGFC), 43-50% - IGCC), niż obecnie stosowane rozwiązania. Dla przykładu: najnowsze nadkrytyczne bloki fluidalne (np. w elektrowni Łagisza), zintegrowane z turbiną parową osiągają sprawność 46%”.*  
Należy mieć na uwadze, że układy IGFC to instalacje koncepcyjne, a technologia we wczesnej fazie rozwoju i trudno ją porównywać z istniejącymi blokami na parametry nadkrytyczne, które już dzisiaj mogą z technicznego punktu widzenia osiągać sprawności 50+.

**Str.6**

- *„Nie opracowano dotychczas metody wysokotemperaturowego usuwania siarkowodoru z gazu ze zgazowania węgla (syngazu).”*

Nie jest to do końca prawda. Bardzo zaawansowane prace w tym zakresie prowadzone są w USA, gdzie powstaje układ demonstracyjny (50 MWth, Research Triangle Institute: Warm Syngas Cleanup Technology). Należało o tym wspomnieć, tym bardziej, że w żadnym stopniu nie umniejsza to znaczenia wyników uzyskanych w pracy.

**Str. 8**

- „Reaktory dyspersyjne zapewniają wysoki stopień konwersji surowca i dlatego należą do najintensywniej rozwijanych w ostatnich latach [9]. Wymagają one rozdrobnienia węgla do frakcji <1mm”.
- Chyba chodzi o < 100-200 μm

**Str. 8**

- „Obecność znacznej ilości popiołu zmniejsza uzysk zimnego gazu o 3%”
- Jak rozumiem chodzi o sprawność zimną zgazowania.

**Str. 8**

- Tablica 1 – należy podawać jakiego stanu dotyczą udziały.

**Str. 13**

- Tabela 3:
  - technologia Siemens jest jednostopniowa w przeciwieństwie do E-GAS (obecnie CB&I E-GAS). Podobnie technologia Shell ma palniki u dołu rektora, Siemens u góry.
  - Wydajność zimnego gazu to nie jest poprawne tłumaczenie !. „Cold gas efficiency” to sprawność zimna zgazowania zdefiniowana jako stosunek strumienia entalpii chemicznej wytwarzanego gazu do strumienia entalpii chemicznej paliwa – węgla.

**Str. 14**

- „Z drugiej strony, większa zawartość pary wodnej, będąca rezultatem podawania surowca w zawieszynie, zwiększa moc turbiny parowej. Dzieje się tak, ponieważ maleje w ten sposób ilość pary separowanej ze strumienia gazu z dla realizacji parowego reformingu zasiarczonego gazu (SWGS)”

To duże uproszczenie: po pierwsze jak rozumieć SWGS to Sour Water Gas Shift, a nie reforming parowy zasiarczonego gazu. Reforming parowy to zwykle konwersja gazu ziemnego do wodoru. Po drugie konwersję CO nie stosujemy zawsze. W przypadku układów energetycznych tylko gdy separujemy CO<sub>2</sub>. Poza tym, parę potrzebną do procesu SWGS produkujemy w wymiennikach ciepła, ewentualnie pobieramy z upustów turbiny, a nie separujemy z gazu.

**Str. 16**

- „W procesie WGS zachodzą skomplikowane reakcje reformingu smół jak i reakcja (22)”.
- Reakcja WGS to przede wszystkim reakcja (22). Smół na tym etapie raczej już nie ma.

**Str. 40**

Co było przesłanką do wyboru sorbentów ZF, ZT, ZFT. Jakie kryteria przyjęto dla dokonania wyboru.

**Str. 49**

Tablica 9: Mieszanina I: co to za gaz? Czemu taki skład przyjęto do badań?

**Str. 51**

Równanie (51) w opisie oznaczeń wielkości występują  $C_{s2}$  i  $m_s$ , które nie występują w równaniu. W równaniu (53) występują wielkości  $p^{in}$  i  $p^{out}$  które nie są opisane. Ponadto Autor raz używa oznaczeń z języka angielskiego, a raz z polskiego.

**Str. 56**

*„W niniejszej części pracy przedstawiono i przedyskutowano wyniki badań sorbentów cynkowych, metodą impregnacji w gęstwie ..”. impregnacji czy zateżania? .*

**Str. 68, 69**

Dwa razy rysunek 24.

**Str. 79**

*„Metodami: współstrącania, impregnacji oraz spiekania, wytworzono sorbenty typu ZF opisane jako: ZF2-STD0,2; ZF-IMD0,2; ZF-SPD0,2” – dlaczego nie metodą zateżania w gęstwie?*

**Str. 84**

*„Wytworzone badanymi metodami sorbenty typu ZFT (ZFT5-STD0,2; ZFT5-SLD0,2; ZFT5-SP1D0,2; ZFT5-SP3D0,2; ZFT5-SP5D0,2” – czemu do badań przyjęto sorbent o 50% zawartości  $TiO_2$  choć na stronie 75 uznano że jest on najgorszy, a optymalny powinien zawierać 30-40%  $TiO_2$ . Ponadto, dlaczego dla różnych sorbentów stosuje się różne metody wytwarzania?*

**Str. 89**

*„Określono wpływ rodzaju lepiszcza na najważniejsze właściwości użytkowe sorbentów Zn-Ti (ZT), Zn-Ti-Ni (ZTNi), oraz Zn-Fe (ZF): ..” Czy wybór sorbentów do badań wpływu lepiszcza miał jakieś przesłanki? Dodatek Ni trochę zaskakuje – o domieszkowaniu Ni i Co mówi się później.*

**Str. 92**

*„Wśród świeżych sorbentów typu ZF, te formowane z bentonitem wykazują minimalnie większą wytrzymałość, niż odpowiedniki formowane z gliną Drużkowską...” Nie znalazłem wyników badań (Autor ich nie przedstawia) dotyczących sorbentu ZF.*

**Str. 93**

Czy dodatek grafitu wpływa na tak znaczne obniżenie powierzchni właściwej (do 5,6) i z czego to może wynikać ?

**Str. 113**



„W odróżnieniu od omawianych wcześniej (rozdział 9.2) materiałów typu ZT, do formowania zawierających kobalt sorbentów typu ZFT (ZFT4Co-SL i ZFT5Co-SL) stosowano bentonit” Uzasadnienie dla bentonitu, przecież ziemia Druzków daje lepsze rezultaty? Dlaczego ZFT5 – patrz poprzednie uwagi.

**Str. 116**

„Włączenie kobaltu(II) (niklu(II)) do składu sorbentów ZT i ZFT prowadzi do materiałów o korzystniejszych właściwościach sorpcyjnych względem H<sub>2</sub>S. Domieszkowanie niklem zapewnia większy wzrost pojemności sorpcyjnej niż domieszkowanie kobaltem.”

Autor nie przedstawia wyników badań sorbentów z dodatkiem Ni.

**Str. 117**

Kryteria wyboru sorbentów do badań?

**D. Wnioski końcowe**

1. Mgr inż. Maciej Chomiak zrealizował w swej rozprawie zadania badawcze mające na celu opracowanie sorbentu w tym jego składu i metody wytwarzania do wysokotemperaturowego odsiarczania gazów ze zgazowania węgla. Opracowanie wysokotemperaturowych sorbentów – technologii odsiarczania jest jednym z kluczowych kierunków rozwoju układów produkcyjnych zintegrowanych ze zgazowaniem węgla. Do osiągnięcia założonych celów Doktorant, przeprowadził niezwykle rozbudowane badania eksperymentalne oraz dokonał wnikliwej analizy otrzymanych wyników. Zrealizował w całości zakres planowanych badań i osiągnął założone w recenzowanej rozprawie cele. Realizacja pracy wymagała zaangażowania, dużej wiedzy i umiejętności w zakresie planowania i realizacji prac eksperymentalnych. Praca Pana mgr inż. Macieja Chomiaka zawiera wiele oryginalnych rozwiązań zarówno w zakresie metodologicznym jak i poznawczym oraz aplikacyjnym.
2. Pewne niedostatki rozprawy podkreślone w recenzji nie zmniejszają osiągnięć metodologicznych, poznawczych i wagi głównych rezultatów.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że przedstawiona przez mgr inż. Macieja Chomiaka praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie o Stopniach i Tytułach Naukowych i wnioskuję do Rady Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Zwracam się ponadto z prośbą do Rady Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej o wyróżnienie recenzowanej pracy doktorskiej.

