

Dr hab. inż. Jarosław Zuwała, prof. nadzw.
Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla
ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze
e-mail: jzuwala@ichpw.pl
tel.: (32) 271-51-52

Zabrze, 16.04.2019 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Krzysztofa Kalinowskiego
pt. „**Integracja jednostkowych procesów podstawowych występujących w instalacji de-
sorpcji benzolu z oleju płuczkowego**”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Piotr Burmistrz

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Pana prof. dr. hab. inż. Wojciecha Suwały, Dziekana Wydziału Energetyki i Paliwa Akademii Górniczo – Hutniczej z dnia 4 marca 2019 roku zawierające prośbę o opracowanie recenzji przedmiotowej rozprawy (pismo znak: WEiP MŚ.510-88/151/19).

2. Wprowadzenie

Zakres merytoryczny i formalny recenzji uwzględnia zalecenia przepisów ustawy z dnia 14 marca 2003 roku „*O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*” (Dz. U. 2003 Nr. 65 Poz. 595 z dnia 14.03.2003r. z późn. zmianami). Zgodnie z art. 13. Ust.1. wymienionej ustawy rolą recenzenta jest między innymi stwierdzenie, czy przedłożona do recenzji rozprawa doktorska przygotowana pod opieką promotora albo pod opieką promotora i promotora pomocniczego stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne, lub oryginalne dokonanie artystyczne, oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.

Z przywołanego fragmentu ustawy wynika, że treść recenzji powinna zawierać ustalenie, czy przedłożona praca spełnia wyszczególnione wymagania, recenzja moja zawierać będzie zatem ustosunkowanie się do kwestii takich jak:

- prawidłowość sformułowania tematu rozprawy
- znajomość przez Doktoranta zagadnień związanych z pracą
- słuszność postawionej tezy rozprawy (bądź celu i zakresu rozprawy, jeżeli tez nie sformulowano)
- prawidłowość zamieszczonych w pracy rozwiązań teoretycznych, rezultatów przeprowadzonych obliczeń oraz sformułowanych wniosków końcowych a także potwierdzenie samodzielności Doktoranta w rozwiązywaniu przedstawionych zagadnień naukowych.

3. Ogólna ocena rozprawy wraz z uwagami krytycznymi

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Krzysztofa Kalinowskiego prezentuje rozwój technologii i instalacji służących usuwaniu benzolu z gazu koksowniczego a następnie jego desorpcji z oleju płuczkowego ze szczególnym uwzględnieniem integracji jednostkowych procesów podstawowych.

Rozprawę Doktorant zawarł na 171 stronach tekstu zasadniczego. Praca zawiera wykaz podstawowych skrótów użytych w treści rozprawy. Wykaz literatury mieści się na 5-ciu stronach, zawierając 69 pozycji, z których część (12) stanowią odwołania do literatury obcojęzycznej, mające pełne uzasadnienie wynikające z treści rozprawy. W wykorzystywanej w pracy bibliografii dominują opracowania o charakterze raportów technicznych, kart technologicznych i opisów patentowych. Autor dokonując identyfikacji stanu wiedzy wsparł się dorobkiem naukowym krajowych ośrodków prowadzących prace z obszaru koksownictwa, którego dotyczy recenzowana praca (AGH Kraków, IChPW Zabrze). Dużą część pozycji literaturowych stanowią opracowania (publikacje i patenty), których Doktorant jest autorem bądź współautorem (takich prac jest 16).

Pracę podzielono na pięć (5) numerowanych rozdziałów a także nienumerowane rozdziały „Wprowadzenie i cel pracy” oraz „Podsumowanie i wnioski”. We „Wprowadzeniu” Doktorant omawia zwięźle kierunki wykorzystania produkowanego na świecie i w Polsce koksu z tradycyjnych baterii koksowniczych, zwracając uwagę na uboczne produkty procesu koksowania, w tym m.in. benzol surowy. Stawia pytanie o celowość wydzielania benzolu z gazu koksowniczego, wskazując i analizując aspekty pozyskiwania surowca do dalszej przeróbki, końcowego doczyszczania gazu z naftalenu oraz wpływu zawartości benzolu na ekonomikę procesu spalania oczyszczonego gazu koksowniczego. W efekcie dokonanych analiz stawia pytanie (str. 10): „*W jaki sposób należy optymalizować proces wydzielania benzolu z gazu koksowniczego przy równoczesnym doczyszczaniu gazu z naftalenu?*”. W dalszej części **sformułowany został cel pracy**: „...wytyczenie nowych kierunków prowadzenia desorpcji benzolu z oleju płuczkowego z jednoczesną regeneracją tego absorbentu przy wykorzystaniu zaproponowanego rozwiązania – *Nowej Zintegrowanej Kolumny Odpędowej Benzolu...*”.

W rozdziale 1 Doktorant omawia podstawy teoretyczne powstawania i wydzielania węglowodorów aromatycznych w trakcie procesu koksowania węgla. Skupia uwagę na benzolu surowym oraz produktach jego rozdestylowania (benzen, toluen). Analizuje także szczegółowo procesy absorpcji/desorpcji benzolu z gazu koksowniczego, opisując stosowane do ich opisu modele matematyczne i zależności empiryczne oraz omawia konstrukcje absorberów i wpływ regeneracji na właściwości oleju płuczkowego.

Rozdział 2 przedstawia omówienie jednostkowych procesów podstawowych występujących w instalacji desorpcji benzolu z oleju płuczkowego. Krótkiemu scharakteryzowaniu poddano dziesięć podstawowych procesów, takich jak: wstępne podgrzewanie oleju nasyconego benzolem z wykorzystaniem ciepła odzyskiwanego z oleju odpędzonego (1), końcowe podgrzewanie oleju nasyconego (2), końcowe chłodzenie oleju odpędzonego (3), desorpcja węglowodorów benzolowych z oleju płuczkowego (4), rektyfikacja benzolu surowego (5), kondensacja par wodno – benzolowych (6), rozdział benzolu surowego i wody (7), regeneracja oleju płuczkowego (8), usuwanie polimerów oleju płuczkowego i (9) wydzielanie i wyprowadzanie naftalenu (10). Ważną część rozdziału stanowią wyniki pięciomiesięcznych doświadczeń eksploatacyjnych instalacji odbenzolowania, które pozwoliły potwierdzić korzystny wpływ regeneracji na stabilizację parametrów pracy obiegu olejowego w węźle odbenzolowania gazu.

W rozdziale trzecim podjęto próbę usystematyzowania istniejących rozwiązań w obszarze instalacji desorpcji benzolu z gazu koksowniczego. Opisano sześć układów technologicznych, różniących się od siebie liczbą aparatów, co uzyskano poprzez zastosowanie integracji aparatu-

turowej i technologicznej. Rozdział ten stanowi wstęp do zasadniczej części pracy, którą przedstawiono w kolejnych rozdziałach.

Zasadniczą część rozprawy stanowią rozdziały:

- rozdział 4 („*Analiza integracji procesów jednostkowych prowadzona na podstawie doświadczeń z pracy ZROP i ZKOB w warunkach przemysłowych*”), którego podrozdziały poświęcono kolejno: opisowi technologii ZROP (zregenerowanego oleju płuczkowego), technologii pracy ZKOB (zintegrowanej kolumny odpędowej benzolu); oraz
- rozdział 5 („*Rozwój integracji procesów jednostkowych w układach technologicznych desorpcji benzolu*”), gdzie na podstawie zebranych danych doświadczalnych (informacje ruchowe), opisanych w rozdziale 4 podjęto próbę opracowania korelacji pomiędzy poszczególnymi parametrami charakteryzującymi przebieg regeneracji oleju płuczkowego. Zaprezentowano tam także koncepcję aparatu kolumnowego z rozdzielaczem benzolu i wody separatorowej i wskazano perspektywy dalszego doskonalenia instalacji desorpcji benzolu z oleju płuczkowego, pod kątem opracowania nowych rozwiązań konstrukcyjnych kolumn odpędowych.

Pracę kończy rozdział 6 zawierający zwięzłe podsumowanie zrealizowanych prac oraz uzyskane wnioski. Doktorant przywołuje w nim część uzyskanych w pracy wyników, można było dla większej przejrzystości ująć je porównawczo w tabeli zbiorczej bądź wykresie, ułatwiłoby to z pewnością ich porównanie bez potrzeby przeszukiwania poprzednich rozdziałów.

Recenzowana rozprawa jest bardzo bogata w formy graficzne, nie zawiera jednak zalecanego ustawą (Art. 13 ust. 6) streszczenia w języku angielskim. Z uwagi na dużą liczbę wzorów i oznaczeń oraz form graficznych, jej lekturę ułatwiłoby z pewnością wykaz stosowanych oznaczeń oraz spis rysunków i tabel. Źródła literaturowe, z których zaczerpnięto rysunki oraz dane tabelaryczne oznaczono jedynie w części przypadków (zazwyczaj w treści tekstu je poprzedzającego). Domniemuję, iż te przy których nie wskazano odniesień literaturowych są autorstwa Doktoranta. Zaleca się, aby w przypadku wszystkich form graficznych wyraźnie zaznaczyć w opisie własne autorstwo ewentualnie przywołać pozycję literaturową, z której je zaczerpnięto. W przypadku braku danych w niektórych wierszach tabel, korzystniej jest zamiast zostawiać je puste, wpisać w nich skrót: „*bd*” (brak danych) lub „*no*” (nie oznaczano) – dotyczy to m.in. Tabeli 1.5.

Tytuł rozprawy jest adekwatny do jednoznacznej i jasno przedstawionej treści rozprawy. Przewaga tej pracy nad większością rozpraw doktorskich polega na jej niepodważalnym aspekcie praktycznym bez potrzeby weryfikowania przydatności dla przemysłu proponowanych rozwiązań. Opisane rozwiązania „bronią się” samoistnie poprzez ich dotychczasowe wykorzystanie w praktyce przemysłowej i osiągnięte, wykazane efekty. Niewątpliwą zaletą tej pracy jest fakt, że praktycznie bez wielkich modyfikacji mogłaby stanowić specjalistyczny podręcznik dla studentów specjalizacji koksowniczych, studiów podyplomowych oraz kadry inżynierskiej obsługującej wydział węglpochodnych na koksowni.

Pomimo kilku przedstawionych powyżej uwag, strukturę merytoryczną i układ zawartości recenzowanej pracy uznaję za właściwe.

3.1 Ocena prawidłowości wyboru tematu

Węzeł wyodrębniania benzolu z gazu koksowniczego stanowi jeden z istotnych węzłów technologicznych wydziału węglpochodnych na koksowni, który odpowiedzialny jest za oczyszczanie gazu koksowniczego z zanieczyszczeń. Usuwanie benzolu z gazu koksowniczego ma dla technologii koksowniczej dwojaki aspekt: oczyszczenie gazu koksowniczego z lekkich węglowodorów aromatycznych oraz pozyskanie cennego produktu – benzolu kok-

sowniczego, który stanowi jeden z podstawowych produktów ubocznych o określonej wartości handlowej. Usuwanie benzolu z gazu koksowniczego na drodze jego absorpcji z gazu w oleju płuczkowym i następnie desorpcji poprzez oddestylowanie lekkich frakcji jest zdecydowanie najbardziej rozpowszechnioną metodą, która od wielu lat podlega udoskonalaniu w kierunku poprawy skuteczności usuwania benzolu z gazu, zwiększenia bezpieczeństwa tej operacji oraz optymalizacji zużycia surowców (oleju płuczkowego), materiałów i energii. W ostatnich latach obserwuje się silny trend w kierunku integracji aparaturowej instalacji benzolowni co pozwala uzyskać wszystkie w/w efekty. Biuro Projektów „Koksoprojekt”, z którym związany jest Doktorant, jest jedną z wiodących jednostek na świecie w tej dziedzinie a on sam jest liderem zespołu, który w ostatnich latach z powodzeniem wdrażał nowe rozwiązania w zakresie rozwoju węzła odbenzolowania gazu w przemyśle koksowniczym. Efekty tych prac dobrze wpisują się w światowy trend minimalizacji indywidualnych składowych instalacji przemysłowych powiązany z ograniczeniem zużycia materiałów i energii.

Opisywane w pracy układy technologiczne to skończone koncepcje projektowe wdrożone w wielu krajowych i zagranicznych koksowniach. Wiele z nich nosi znamiona nowatorskich rozwiązań zmieniających radykalnie podejście procesowe do pracy instalacji usuwania benzolu z gazu koksowniczego. Dobrym przykładem może być tutaj koncepcja rozcieńczania gorącej pozostałości polimerowej smołą koksowniczą i skierowanie otrzymanej mieszanki do strumienia smoły, co pozwala skutecznie pozbyć się kłopotliwego odpadu. Innym przykładem są rozwiązania stosowanych wymienników ciepła, w tym wymienniki spiralne.

Mając na uwadze powyższe stwierdzam, że temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Kalinowskiego został wybrany prawidłowo, a całość podjętej pracy uwarunkowana była nie tylko potrzebami naukowo – badawczymi, ale przede wszystkim jej przyszłymi efektami praktycznymi i wdrożeniowymi w obszarze oczyszczania gazu koksowniczego i wykorzystania wydzielonego benzolu.

3.2 Ocena prawidłowości celu i zakresu rozprawy

Doktorant we *Wprowadzeniu* do pracy sformułował następujący cel: „...wytyczenie nowych kierunków prowadzenia desorpcji benzolu z oleju płuczkowego z jednoczesną regeneracją tego absorbentu przy wykorzystaniu zaproponowanego rozwiązania – Nowej Zintegrowanej Kolumny Odpędowej Benzolu...”.

Cel ten – choć w zaproponowanej formie może brzmieć nieco nieprecyzyjnie – (niejasne jest, co Doktorant rozumie się pod pojęciem nowych kierunków?) został rozwinięty do następujących celów cząstkowych:

- określenie kierunku poszukiwania rzeczywistych równowag w absorpcji benzolu z gazu koksowniczego pod ciśnieniem zbliżonym do atmosferycznego,
- wskazanie kierunków integracji jednostkowych procesów podstawowych występujących w instalacji desorpcji benzolu z oleju płuczkowego,
- analiza pracy Zintegrowanego Regeneratora Oleju Płuczkowego – [ZROP] (*Integrated Wash Oil Regenerator – [IWOR]*) i Zintegrowanej Kolumny Odpędowej Benzolu – [ZKOB] (*Integrated Wash Oil Still – [IWOSTill]*) w warunkach przemysłowych.

Realizacja zakresu pracy umożliwiła osiągnięcie wytyczonych celów cząstkowych – naukowego (jakim są korelacje pomiędzy poszczególnymi parametrami charakteryzującymi przebieg regeneracji oleju płuczkowego) i aplikacyjnego (nowe rozwiązania technologiczno – aparaturowe dla integracji jednostkowych procesów podstawowych występujących w instalacji desorpcji benzolu z oleju płuczkowego) dostarczając oryginalnej wiedzy w analizowanym obszarze badawczym.

Postawione w pracy cele – naukowy i aplikacyjny są ważne przede wszystkim z uwagi na ich znaczenie w rozwoju technologii oczyszczania gazu koksowniczego. Uzyskane wyniki badań są istotne z poznawczego punktu widzenia, szczególnie służyć mogą wsparciu procesów projektowania i konstruowania nowych urządzeń i aparatów wchodzących w skład tzw. instalacji węglpochodnych w przemyśle koksowniczym.

4. Analiza treści rozprawy wraz z uwagami krytycznymi

W poniższym rozdziale recenzji skupię uwagę na zagadnieniach naukowych samodzielnie rozwiązanych przez Doktoranta, na krytyce prawidłowości rozważań, uzyskanych wyników i wniosków oraz na uwagach dyskusyjnych i wątpliwościach, które nasunęły mi się przy pisaniu recenzji. Na końcu zamieszczonej analizy odniosę się do oryginalności i wskażę na główne walory rozprawy.

4.1 Zagadnienia naukowe i uytylitarne rozwiązane samodzielnie przez Doktoranta

Po przeprowadzeniu analizy treści rozprawy stwierdzam, że postawione przez Doktoranta cele zostały zrealizowane, potwierdzając słuszność przyjętych założeń.

Do **najważniejszych zagadnień naukowych** rozwiązanych samodzielnie przez Doktoranta zaliczam:

- krytyczne przeanalizowanie dostępnych pozycji literatury naukowo-badawczej krajowej i zagranicznej ale przede wszystkim dokonanie pogłębionej analizy bieżących doświadczeń w zakresie stosowanych technologii i rozwiązań aparaturowych instalacji oczyszczania gazu koksowniczego ze szczególnym uwzględnieniem węzła odbenzolowania, z których wyniknęła potrzeba sformułowania własnego problemu badawczego, a także celu i zakresu rozprawy,
- wykazanie, że skuteczność usuwania benzolu z gazu koksowniczego w temperaturze poniżej 30°C i pod ciśnieniem zbliżonym do atmosferycznego nie zależy wyłącznie od ilości pozostałych węglowodorów w odpędzonym oleju ale także od ich składu frakcyjnego,
- wykazanie, że wyprowadzone korelacje pomiędzy parametrami charakteryzującymi proces regeneracji i mogące służyć do wyznaczania strumienia wyprowadzonego do regeneracji oleju płuczkowego oraz stopnia regeneracji stanowią jedynie pomoc przy określaniu parametrów regeneracji w celu utrzymania jego parametrów jakościowych – pod względem kinematyki i właściwości chłonnych,
- potwierdzenie, że miarą skuteczności procesu regeneracji ciągłej oleju płuczkowego nie jest uzyskiwanie polimerów o określonym składzie i właściwościach fizykochemicznych lecz utrzymywanie niezmiennych właściwości sorpcyjnych i kinematycznych obiegowego oleju płuczkowego.

Za **najistotniejsze** elementy pracy w **aspekcie praktycznym** uważam natomiast:

- wykazanie, iż brak jest ekonomicznego uzasadnienia dla bardzo głębokiego odpędzania toluenu, ksylenu i cięższych pochodnych benzenu z oleju płuczkowego dla poprawienia skuteczności absorpcji. Korzystne jest natomiast zachowanie nadmiaru absorbentu dla osiągnięcia stanów zbliżających się do równowagi absorpcyjnej,
- udowodnienie, że istniejące (i przywołane w pracy) opisy równowag pomiędzy koncentracją benzolu w gazie koksowniczym i jego udziałami masowymi w oleju płuczkowym są nieprecyzyjne (patrz podrozdział 1.3.2). Przedstawiona w pracy próba estymacji tych

zależności, przy uwzględnieniu zmienności frakcji BTX, ma jedynie charakter pomocniczy dla określenia przedziału poszukiwań równowag w układach rzeczywistych,

- wykazanie, że zastąpienie okresowo przeprowadzanych jednostkowych procesów podstawowych w instalacji desorpcji benzolu prowadzeniem ich w sposób ciągły jest najskuteczniejszym sposobem zagwarantowania stabilnych parametrów pracy instalacji ciągu technologicznego wydzielania benzolu z gazu koksowniczego,
- zaproponowanie instalacji desorpcji benzolu z oleju płuczkowego opartej na pracy Zintegrowanej Kolumny Odpędowej Benzolu (ZKOB – IWOSTill) i Zintegrowanego Rozdzielacza Benzolu i Wody Separatorowej (ZRBiWS –IBWS) jako najskuteczniejszej obecnie instalacji realizującej wszystkie podstawowe procesy jednostkowe niezbędne dla jej prawidłowego funkcjonowania.

4.2 Prawidłowość rozważań, uzyskanych wyników i wniosków oraz uwagi krytyczne

Treść rozprawy dowodzi, że Doktorant bardzo dobrze znajduje się w przedmiotowej problematyce. Nie stwierdzam istotnych uchybień w tym zakresie i oceniam znajomość przedmiotu zagadnienia przez Doktoranta, w tym jego przygotowanie zawodowe i naukowe – bardzo pozytywnie. Na podkreślenie zasługuje bardzo duża liczba przeanalizowanych danych o charakterze doświadczalnym i biegłość Doktoranta w posługiwaniu się wieloma zróżnicowanymi charakterystykami empirycznymi.

Poniżej zamieszczam wybrane uwagi, które uznaję za drobne lub posiadające charakter porządkowy, niektóre z nich stanowią jednakże przyczynek do podjęcia pogłębionej dyskusji naukowej:

- Pewnym mankamentem pracy jest brak wyraźnego rozgraniczenia dokonań zespołu BP Koksoprojekt prowadzącego prace pod kierunkiem Doktoranta na tle poziomu technologicznego rozwiązań technicznych stosowanych w Europie i na świecie. Czytając pracę w niektórych momentach trudno z prezentowanych rozwiązań technologicznych wyodrębnić te, które stanowią dokonania zespołu kierowanego przez Autora pracy (oraz jego własne) a które są powszechnym (rutynowym) stanem techniki w koksownictwie. Można było te części rozgraniczyć w sposób bardziej wyraźny niż to uczyniono w pracy. Przykładowo, w opisanych układach technologicznych w punktach 3.3.1 - 3.3.6 przedstawiono chronologiczny rozwój układu desorpcji benzolu. Nie podano jednoznacznie, który z przedstawionych wariantów stanowi autorskie rozwiązanie zespołu pod kierunkiem doktoranta i jakie dokładnie szczegóły stanowią jego wkład w rozwój tych układów. **Proszę Doktoranta o doprecyzowanie powyższej informacji w trakcie obrony.**
- W trakcie lektury pracy można odnieść wrażenie, że podstawowy parametr jakościowy benzolu, taki jak skład frakcji BTX, wynika w głównej mierze z zastosowanych rozwiązań układu desorpcji benzolu. Z drugiej strony wiadomo także, że wpływ na skład benzolu ma w zdecydowanym stopniu skład mieszanki węglowej, warunki koksowania i parametry w tzw. przestrzeni podsklepieniowej baterii koksowniczej a dopiero w dalszej kolejności warunki technologiczne na instalacji odbenzolowania gazu. **Proszę Doktoranta o ustosunkowanie się do tego w trakcie obrony.**
- W wielu gałęziach przemysłu (m.in. energetyka, petrochemia) w celach obliczeń optymalizacyjnych złożonych sieci wymienników ciepła stosowana jest tzw. *metoda Pinch*. Zakładam, że Doktorant zna tę metodę i jej założenia – czy była ona rozważana na etapie doboru metodyki i narzędzi służących doborowi ostatecznej konfiguracji układu aparatów i urządzeń w rozważanych konfiguracjach? **Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie w trakcie obrony.**

- Str.9: wnioski dotyczące wpływu odbenzolowania na zmniejszenie emisji NO_x nie są tak jednoznaczne jak w ujęciu Autora pracy. Obniżenie emisji NO_x odnotowane w EC Mercury niekoniecznie było wynikiem wyłącznie odbenzolowania gazu koksowniczego i w konsekwencji obniżenia jego wartości opałowej. Wpływ na to mogły mieć także inne parametry – np. zawartość NH₃, co jest widoczne po analizie okresów II i III, kiedy to przy włączonym odbenzolowaniu spadek emisji NO_x wiąże się ze zmianą metody odamoniakowania z sytnikowej na amoniakalną.
- Str. 16, Rys. 1.2: nieco dyskusyjna jest tendencja zniknięcia benzenu i gwałtownego wzrostu zawartości toluenu przy wzroście temp od 875 – 900°C, brak jest także wzajemnej spójności wykresów na rys. 1.1 i 1.2, co nie ma jednakże wpływu na merytorykę pracy. **Skąd zaczerpnięto ten wykres?**
- Str. 21, Pkt. 1.3.2: stwierdzenie, że ciśnieniowe odbenzolowanie jest rzadko stosowane jest nieuzasadnione, bowiem stosuje się je w największych polskich koksowniach (np. Przyjaźń i Zdzeszowice), efektem czego jest lepsze oczyszczenie gazu na zbyt. Dla gazu przeznaczonego na opał baterii koksowniczych przestaje się na odbenzolowaniu przy ciśnieniu zbliżonym do atmosferycznego, co ma swoje uzasadnienie ekonomiczne i technologiczne. Zastosowanie opisanych w pracy rozwiązań pozwoli uzyskać parametry jakościowe gazu na poziomie tych po odbenzolowaniu ciśnieniowym co pozwoli w przyszłości zrezygnować z drogich i kłopotliwych technologii ciśnieniowych zastępując je rozwiązaniami proponowanymi w pracy.
- Str. 34: „*Pluczka z zastosowaniem półek rozprowadzających i wypełnieniem strukturalnym może być wytworzona z 3 do 5 modułów, co zawsze podlega procesowi optymalizacji i uwarunkowane jest głównie masą poszczególnych modułów oraz warunkami transportowymi i montażowymi.*” **Czy optymalizacji podlegać miałyby masa pojedynczego elementu?**
- Str. 37, Tabela 1.8: jakie jest źródło danych przedstawionych w tabeli?
- Str. 49, Pkt 2.3.2: „*...temperatura końcowego podgrzania oleju nie powinna przekraczać 25 °C.*” – czy ta wartość jest prawidłowa?
- Str. 56, Rys. 2.14: zmienność koncentracji benzolu w gazie koksowniczym jest bardzo duża, o ile można uzasadnić wzrosty, jak można wytłumaczyć spadki tej zawartości?
- Str. 96, Pkt. 4.3.2.1: zamiast "absorpcji NH₃ i H₂" powinno być NH₃ i **H₂S**.

Podkreślić należy, że powyższe uwagi nie umniejszają wartości naukowej pracy. Ponadto, drobne korekty o charakterze redakcyjnym i stylistycznym, naniesione w tekście rozprawy zostały przekazane Doktorantowi, z sugestią ich dalszego wykorzystania, np. w trakcie opracowywania publikacji związanych z tematyką pracy doktorskiej.

4.3 Oryginalność i główne walory rozprawy

Doktorant realizując bardzo szeroki zakres analiz związanych z rozwojem technologii desorpcji benzolu z gazu koksowniczego poprzez stopniową integrację aparaturową służącą realizacji poszczególnych procesów jednostkowych wykazała możliwość skutecznego zaprojektowania i eksploatacji złożonych instalacji oczyszczania produktów węgl pochodnych w przemyśle koksowniczym, co może mieć znaczenie, przede wszystkim z punktu widzenia:

- umożliwienia nadzoru technologicznego nad poprawną eksploatacją instalacji Nowej Zintegrowanej Kolumny Odpędowej Benzolu [NZKOB],

- dostarczenia wytycznych dla projektowania nowych aparatów i urządzeń dla realizacji procesu odbenzolowania gazu koksowniczego,
- dalszych perspektyw rozwoju integracji w układach technologicznych desorpcji benzolu.

Zakres zrealizowanych prac stanowi oryginalny dorobek Doktoranta a wyniki uzyskane w trakcie realizacji pracy dostarczają ważnych wniosków, które mogą być przydatne m.in. na etapie projektowania, eksploatacji ale przede wszystkim eksploatacji instalacji oczyszczania gazu koksowniczego pod kątem wydzielenia wartościowych składników.

Uzyskane wyniki mają znaczenie nie tylko naukowe ale również cenne są z punktu widzenia analitycznego i projektowego w przyszłych pracach projektowych obszaru przemysłu koksowniczego ale także poglądowo w innych obszarach, gdzie rozwiązywane są zagadnienia z pogranicza technologii chemicznej i energetyki (w tym optymalizacja sieci wymienników ciepła).

Sugeruję, aby po wprowadzeniu drobnych korekt redakcyjnych wydać niniejszą pracę doktorską w formie poradnika monograficznego, stanowiącego dużą wartość nie tylko naukową ale przede wszystkim praktyczną i przeznaczonego m.in. dla pracowników krajowych koksowni.

5. Wnioski końcowe

Na podstawie przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej, biorąc pod uwagę przedstawione wcześniej uwagi i spostrzeżenia **stwierdzam, że przedstawiona przez Pana mgr inż. Krzysztofa Kalinowskiego rozprawa pt. „Integracja jednostkowych procesów podstawowych występujących w instalacji desorpcji benzolu z oleju płuczkowego”**

spełnia w całości wymogi przywołanej na wstępie recenzji ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki”.

Doktorant przedstawił w pracy doktorskiej oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną a także wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wobec powyższych faktów stawiam przed Radą Wydziału Energetyki i Paliw Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie wniosek o dopuszczenie przedmiotowej rozprawy do publicznej obrony.

