

# Recenzja rozprawy doktorskiej (doktorat wdrożeniowy)

mgr. inż. Wojciecha Piotrowskiego

p.t. „Opracowanie i wdrożenie ulepszonej  
niskoemisyjnej technologii wytwarzania octanu etylu”

Promotor pracy: dr hab. inż. Robert Kubica

Promotor pomocniczy: dr inż. Maksymilian Gądek

Podstawą prawną sporządzenia niniejszej recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Politechniki Śląskiej w Gliwicach, prof. dr. hab. Inż. W. Simka, informująca o decyzji Rady z dnia 06. grudnia 2023 powołującej mnie na recenzenta ww. rozprawy doktorskiej pana mgr. inż. Wojciecha Piotrowskiego

## 1. Zakres pracy

Przedłożona mi ww. rozprawa doktorska napisana jest w języku polskim i zawiera poza główną częścią również:

- spis treści,
- obszerny spis literatury (257 pozycji),
- spis rysunków i tabel,
- 2 załączniki.

Przedłożona mi rozprawa jest bardzo obszerna: liczy 255 stron i 8 rozdziałów. Ponadto praca zawiera 2 załączniki, w których przedstawiono stosowane korelacje do obliczania własności fizykochemicznych mediów oraz wyniki badań CFD nowej konstrukcji mieszalnika strumieniowego katalizatora i optymalizacji jego wyboru do syntezy octanu etylu.

## 2. Przedmiot pracy

Nowoczesne technologie do produkcji rozpuszczalników organicznych opierają się głównie na procesach rektyfikacji, które należą do najbardziej energochłonnych procesów w przemyśle. Przykładowo 3% całkowitej energii zużywanej w przemyśle w USA przypadają na procesy rektyfikacji. Rozwój i stale rosnący popyt w świecie na tego typu produkty oraz rosnąca produkcja przemysłowa wiąże się z koniecznością opracowania całkowicie nowych albo modernizacji istniejących technologii pod kątem redukcji zużycia energii a tym samym redukcji kosztów ruchowych.

Równocześnie rosną wymogi ekologiczne odnośnie redukcji powstających w tych procesach odpadów i zanieczyszczeń powietrza i wód.

Te dwa trendy wymuszają więc szeroko rozumianą optymalizację procesową pod kątem redukcji energochłonności procesów oraz redukcji emisji do środowiska. Szczególnie ważne jest to w przemyśle chemicznym, gdzie w wyniku procesów produkcji określonych produktów czy związków chemicznych występują różne procesy rozdziału substancji i powstają ciekłe odpady resztkowe, które usuwane są do dalszej utylizacji w oczyszczalniach ścieków, muszą jednak spełniać wymogi odnośnie dopuszczalnego stopnia zanieczyszczenia.

Przy projektowaniu nowych technologii oraz modernizacji istniejących linii produkcyjnych głównym zadaniem projektanta jest więc zastosowanie nowych wysokowydajnych rozwiązań wszelkich stosowanych w technologii aparatów do procesów rozdziału: głównie kolumn rektyfikacyjnych i absorpcyjnych, ale i ekstrakcyjnych i rektorów przy zastosowaniu nowoczesnych materiałów oraz metod obliczeniowych procesów dostosowanych do warunków procesu, celem redukcji korozji, prowadzenia procesów rozdziału pod niskimi ciśnieniami jak i celem obniżenia kosztów ruchowych procesu oraz stosowanie nowoczesnych i dokładnych urządzeń pomiarowych i regulacyjnych procesów, których zastosowanie fizyczne umożliwia znaczną redukcję energochłonności procesów.

Octan etylu jest zaliczany do tzw. „zielonych rozpuszczalników” – jest bardzo poszukiwanym na rynku produktem – stosowanym szeroko w przemyśle lakierniczym (50%), tworzyw sztucznych, włókienniczym, spożywczym, farmaceutycznym i kosmetycznym o przyjemnym owocowym zapachu i niewielkiej toksyczności.



Produkcja światowa tego produktu rozwija się w bardzo szybkim trybie: przewiduje się wzrost produkcji światowej octanu etylu z 3,7 mln t/a w roku 2024 do 5,1 mln t/a w roku 2028.

W Polsce nie ma dotychczas producenta octanu etylu, tylko podobnego produktu octanu butylu. Stąd na bazie istniejącej technologii inwestor zdecydował się na realizację takiej technologii do produkcji octanu etylu, którą postanowił zmodyfikować i zoptymalizować oraz dostosować do aktualnego stanu techniki w dziedzinie inżynierii chemicznej.

Celem niniejszej pracy było opracowanie nowoczesnej technologii do produkcji octanu etylu w oparciu o modernizację i optymalizację produkcji octanu butylu wychodząc z substratów kwasu octowego i etanolu poprzez intensyfikację i modernizację procesów reakcji występujących w procesie wytwarzania octanu etylu oraz modernizację aparatów kolumnowych do destylacji i zastąpienie np. standardowych półek sitowych zmodernizowanymi półkami nowego typu, które zostały opracowane przy użyciu nowoczesnych modułów CFD i badań pilotowych. Dotyczy to też modernizacji mieszalników przepływowych.

Do tej pory w Polsce taka technologia nie jest znana i nie produkuje się octanu etylu.

W związku z powyższym, uważam wybór takiego tematu rozprawy doktorskiej przez pana Piotrowskiego za bardzo interesujący i w pełni uzasadniony, i dopasowany do aktualnych potrzeb i dla rozwoju krajowego przemysłu chemicznego. Celem pracy była więc modernizacja instalacji celem obniżenia kosztów wytwarzania przy produkcji wysokiej czystości produktu a tym samym do poprawy konkurencyjności wg przedstawionej niskoemisyjnej technologii na rynkach światowych.

Nową koncepcję technologii produkcji octanu etylu opisano w punkcie 3, rozdziału 1 i przedstawionej schematycznie na rysunku 3.2.

Cel przedstawionej rozprawy jest więc jasno sformułowany a wszelkie etapy modernizacji konsekwentnie opisane krok po kroku.

W ramach ww. pracy podjęto działania w 2 obszarach:

- a) usprawnień procesowych przy produkcji octanu etylu wg wybranej metody Fischera, rozdziały 3 i 4,
- b) usprawnień aparaturowych, rozdział 5,
- c) analizy ekonomicznej opracowanej technologii wytwarzania octanu etylu, który na podstawie przedstawionych parametrów ruchowych i niskiej emisji do środowiska z

pewnością jest konkurencyjny wobec innych technologii stosowanych w przemyśle światowym, rozdział 6.

### 3. Ogólna ocena merytoryczna pracy

We wstępie rozprawy w rozdziale 1 opisano różne metody produkcji octanu etylu stosowane aktualnie w przemyśle światowym i opisane w literaturze; kolejno analizowano ich wady i zalety pod kątem kosztów wytwarzania produktu oraz ich energochłonności, oraz na tym etapie wyszczególniono możliwości ich usprawnienia, szczególnie pod kątem możliwości budowy pierwszej w Polsce instalacji do produkcji octanu etylu, który ze względu na dostępność na rynku dużej ilości kwasu octowego i etanolu można produkować z tych podstawowych wyjściowych produktów.

W rozdziale 4 dotyczącym proponowanych usprawnień w technologii wytwarzania octanu etylu Doktorant przedstawił wyniki badań:

- korozyjności mieszaniny reakcyjnej
- kinetyki estryfikacji kwasu octowego z alkoholu etylowym
- optymalizacji procesu przy zastosowaniu programu komercyjnego ChemCad8

W rozdziale 5, dotyczącym usprawnień aparaturowych, przedstawiono wyniki badań hydrauliki i wymiany masy zmodernizowanej półki sitowej, wykonanych na instalacji pilotowej stosując standardowe układy woda/powietrze w warunkach otoczenia oraz układ absorpcyjny CO<sub>2</sub>-powietrze/1M roztwór NaOH.

Otrzymane wyniki opracowano w formie równań bezwymiarowych, które Doktorant proponuje zastosować do projektowania kolumn rektyfikacyjnych ww. technologii do produkcji octanu etylu.

W rozdziale 6 Doktorant dokonał wnikliwej analizy ekonomicznej procesu wytwarzania octanu etylu pod kątem minimalizacji kosztów ruchowych i inwestycyjnych oraz minimalizacji emisyjności w stosunku do środowiska, zgodnie z aktualnymi wymaganiami i przepisami regulacyjnymi dotyczącymi odprowadzenia opadów ciekłych do ścieków.

Na szczególnie pozytywną ocenę pracy zasługuje umiejętność prowadzenia przez Doktoranta badań eksperymentalnych poszczególnych stopni w procesie i walidacja ich wyników przy użyciu programu ChemCad. Szczególnie interesujące i innowatorskie zostały rozwiązane badania kinetyki reakcji kwasu octowego i etanolu przy użyciu różnych typów katalizatorów oraz badania hydrauliki i



wymiany masy w kolumnie półkowej, w której dzięki modernizacji półki sitowej przy pomocy modułu CFD udało się zredukować przemieszanie cieczy i zwiększyć sprawność lokalną jak również modelowanie mieszalnika przepływowego przy użyciu modułu CFD.

Tym samym doktorant wykazał dużą wiedzę i umiejętności w samodzielnym przeprowadzaniu badań eksperymentalnych w różnych dziedzinach inżynierii chemicznej oraz modelowaniu i walidacji uzyskanych wyników pracy.

#### 4. Wniosek końcowy

Mgr. Wojciech Piotrowski przedstawił rozprawę doktorską p.t. „Opracowanie i wdrożenie ulepszonej niskoemisyjnej technologii wytwarzania octanu etylu” napisaną w języku polskim.

Po wnikliwej analizie, stwierdzam, że ww. rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu technologicznego produkcji octanu etylenu na wysokim poziomie naukowym. Przedstawiono innowacyjne rozwiązanie ważnych problemów naukowych związanych z modernizacją kolumny półkowej sitowej oraz mieszalnika przepływowego będących bardzo istotnymi elementami opracowanej w pracy technologii.

W pracy doktorant wykazał, że potrafi rozwiązywać problemy procesowe w drodze eksperymentalnej w różnych operacjach jednostkowych, zarówno z reakcją chemiczną jak i bez, przy opracowaniu podstawowych parametrów pracy kolumn półkowych stosując do walidacji wyników badań m.in. symulacje komputerowe oraz przez wykorzystanie modułu CFD do optymalizacji półek i mieszalnika przepływowego a więc nowych narzędzi do rozwiązywania skomplikowanych zagadnień w inżynierii chemicznej przedstawionych w rozprawie. Tym samym cel pracy został przez Doktorant w pełni osiągnięty.

**Biorąc pod uwagę powyższe, stwierdzam, że przedstawiona mi praca spełnia w pełni wszelkie wymagania stawiane rozprawie doktorskiej i stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej przez Radę Rady Dyscypliny Inżynieria Chemiczna i dopuszczenie jej do publicznej obrony oraz wnioskuję o jej wyróżnienie.**

Oberhausen, 20.03.2024



prof. dr hab. Jerzy Maćkowiak