

Dr hab. inż. Jan Thullie prof. Pol. Śl.

## **O C E N A**

Pracy doktorskiej mgr inż. Maksymiliana Gądka pt.:” Badania nad zastosowaniem hybrydowej półki katalitycznej w procesach wymiany masy” wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Jana Hehlmana

Aparaty wielofunkcyjne znajdują się w centrum zainteresowań badawczych od szeregu lat. Zaproponowane w przedłożonej pracy nowe rozwiązanie hybrydowej półki katalitycznej (HPK), stanowi element kolumny do destylacji reaktywnej, będącej aparatem wielofunkcyjnym, stąd podjęcie tematu związanego z badaniem sprawności procesowej takiego rozwiązania uważam za w pełni uzasadnione. Nadmienić należy, że HPK jest przedmiotem zgłoszenia patentowego oraz realizowanego wdrożenia w Zakładzie SOLVENT WISTOL S.A.

### **Merytoryczna ocena pracy**

Przedłożona praca składa się z ośmiu rozdziałów, załączników i spisu literatury. Pierwszym rozdziałem jest wprowadzenie, w którym Doktorant precyzuje cel pracy, jakim jest opracowanie obliczeniowego modelu sprawności procesowej hybrydowej półki katalitycznej. Następnie omawia destylację reaktywną oraz przypadki, gdy zastosowanie tego procesu jest korzystne.

W rozdziale drugim zajmuje się przeglądem literatury dotyczącym projektowania procesu destylacji reaktywnej. Omawia kolejno studium wykonalności procesu, wybór aparatu oraz sposoby przenoszenia skali. W przypadku ostatniego zagadnienia konkluduje, że w obecnej chwili przenoszenie skali nie jest możliwe bez użycia drogich instalacji półtechnicznych. Stwierdzenie to jest w pełnej zgodności z najnowszymi publikacjami naukowymi z tego zakresu. Stosunkowo dużo miejsca poświęca doktorant doborowi wyposażenia wnętrza kolumn do destylacji reaktywnej, przy czym wyróżnia homogeniczną i heterogeniczną destylację reaktywną. Oczywiście głównym zainteresowaniem doktoranta jest heterogeniczna destylacja



reaktywna, gdyż tutaj znajduje swe główne zastosowanie badana przez niego półka. W kolejnym podrozdziale omawia różne rozwiązania konstrukcyjne półkowych kolumn do destylacji reaktywnej. Zauważa, że przy projektowaniu nowych wypełnień kolumn, jak również przy udoskonalaniu obecnie stosowanych, nieodłączne wydaje się wykorzystanie nowoczesnych metod typu CFD ( str. 37 ). W pełni zgadzam się z tym stwierdzeniem. Niestety badanie tego rodzaju nie zostały w pracy przeprowadzone, co jest niewątpliwie jej brakiem. Brak ten można jednak usunąć w przyszłości.

Rozdział drugi zamyka omówienie metod modelowania procesu destylacji reaktywnej. Przy jego opracowaniu doktorant korzystał z podstawowej monografii z 2003 roku wydanej pod redakcją Sundmachera i Kienle'go. Doktorant omawia model równowagowy (EQ), model braku równowagi (NEQ) oraz model komórkowy NEQ, które wyczerpują podstawowe modele DR obecnie stosowane.

Rozdział trzeci przechodzi do zasadniczej części pracy jaką są badania eksperymentalne i zawiera opis instalacji badawczej oraz program przeprowadzonych badań, a także pewne badania wstępne. Niestety zbyt ogólny tytuł rozdziału jest moim zdaniem mylący. Tytuł brzmi: „Badania nad zastosowaniem hybrydowej półki katalitycznej w układzie absorpcyjnym” i nadaje się raczej jako wspólny tytuł części doświadczalnej pracy.

Rozdział czwarty poświęcony jest hydraulice (HPK). Doktorant po krótkim przeglądzie literaturowym stwierdza brak zależności dla określania oporów hydraulicznych na HPK, co jest truizmem, gdyż jest to nowe rozwiązanie. Do wyznaczenia oporów przepływu zaproponował standardowe ujęcie analizy wymiarowej. Opisowi postępowania poświęcono moim zdaniem stanowczo zbyt dużo miejsca, gdyż można się było ograniczyć do równania korelacyjnego (4.24), dla którego dokonano estymacji parametrów. Wynikiem postępowania jest zależność (4.50) będąca równaniem kryterialnym.

Rozdział piąty dotyczy zagadnień wymiany masy, a w szczególności określeniu współczynnika wnikania masy po stronie gazowej. Tutaj również zastosowano rozbudowaną metodę analizy wymiarowej, która doprowadziła do równania kryterialnego (5.32). Po dokonaniu estymacji parametrów tego równania na podstawie przeprowadzonych eksperymentów uzyskano zależność (5.64). Podobnie jak w przypadku oporów hydraulicznych, przeprowadzono analizę błędów równania kryterialnego.

Wyciągnięte wnioski są poprawne, przy czym zdaniem Doktoranta, lepszymi pod względem uzyskanych wartości współczynnika wnikania masy są pojemniki na katalizator o mniejszej średnicy koszyka wykonanego z siatki.

W rozdziale szóstym przedstawiono zastosowanie modelu HPK w programie Chemcad 6 przy zastosowaniu modelu równowagowego (EQ). Podano algorytm obliczeniowy, który wykorzystano w kolejnym rozdziale do obliczeń otrzymywania octanu n-butyłu w procesie destylacji reaktywnej. Wyniki przedstawiono na wykresach, ale w pracy nie podano modelu

kinetycznego, na podstawie którego dokonano obliczeń co stanowi pewien niedostatek pracy. W podrozdziale 7.3 przedstawiono badania dotyczące kształtu pojemników na katalizator. W wyniku tych badań stwierdzono, że zalecanym kształtem pojemnika dla zastosowań przemysłowych jest koperta (prostopadłościan), a nie przebadany walec.

Rozdział ósmy to podsumowanie wyników pracy. Podsumowanie jest zwięzłe i podkreśla istotne osiągnięcia Doktoranta.

### Ocena ogólna

Doktorant wykazał się dużą wiedzą teoretyczną i praktyczną, a poziom merytoryczny pracy oceniam jako dobry. Przedstawione przykłady świadczą, że zaproponowane metody są użyteczne dla projektowania i tym samym cel pracy został osiągnięty. Najistotniejszym osiągnięciem pracy jest sama konstrukcja hybrydowej półki kontaktowej. Istotną cechą rozwiązania, która moim zdaniem za mało została w pracy wyeksponowana, jest umieszczenie katalizatora w ruchomych pojemnikach wykonujących podczas pracy ruchy oscylacyjne. W pewnych zakresach natężeń przepływu gazu i cieczy oscylacje te mogą istotnie zwiększyć współczynnik wnikania masy. Kwestią otwartą jest, czy takie oscylacje wystąpią w przypadku pojemników w kształcie kopert? Opracowanie równań kryterialnych, pozwalających dokonać obliczeń aparatu jest już w pewnym sensie działaniem standardowym o małym efekcie nowości, tym nie mniej niezbędnym. W moim przekonaniu należy zachować ostrożność w stosowaniu otrzymanych równań korelacyjnych do przenoszenia skali aparatów, co wynika głównie z braku uwzględnienia kinetyki reakcji przebiegającej na katalizatorze. Samo ustalenie równań korelacyjnych jest istotne, gdyż jak podaje Z. Svandova i współautorzy (2008), 381-390 Chem. Eng.J. wpływ wartości współczynnika wnikania masy jest bardzo istotny dla określania obszarów występowania wielokrotnych stanów stacjonarnych (WSS) w kolumnie DR.

Pragnę też podkreślić, że Doktorant posiada dużą wiedzę praktyczną i umiejętność wytrawnego eksperymentatora, a także umiejętność opracowywania wyników doświadczalnych, przy czym przedstawione zestawienie wyników eksperymentalnych jest imponujące.

### Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Z uwag krytycznych chciałbym wyróżnić kilka spraw, które w żadnej mierze nie wpływają na moją ocenę pracy.

- W pracy na str. 67 przedstawione są założenia do modelu hydrauliki HPK. Przedstawione obliczeniowe ujęcie modelu hydrauliki opiera się na analizie wymiarowej i estymacji parametrów otrzymanego równania korelacyjnego na podstawie wyników eksperymentów. Czy

w świetle powyższego przedstawienie założeń do modelu nie jest zbędne, gdyż wartości parametrów odzwierciedlają rzeczywisty przebieg procesu.

- Przegląd literatury, jeśli miał być odniesiony do destylacji reaktywnej, to moim zdaniem nie jest kompletny. Cały spis literaturowy liczy tylko 100 pozycji, w tym wiele nie odnoszących się do DR. Co więcej Autor przytacza tylko kilka pozycji z najnowszej literatury ( opublikowanych po 2005 roku). Tymczasem literatura dotycząca DR jest niezmiernie bogata. Istotna sprawa, jaką jest występowanie WSS w kolumnach do destylacji reaktywnej nie jest w ogóle wzmiankowana. Dobrze, że podstawowe pozycje, jak monografia „Reactive Distillation” pod redakcją K.Sandmachera i S. Kienle oraz prace Krishny są omówione, stąd Doktorant w pełni zdawał sobie sprawę że pomija pewne zagadnienia. W moim odczuciu przegląd pisany jest z punktu widzenia tytułu pracy, a zatem zastosowań HPK, a to zupełnie zmienia perspektywę przeglądu, gdyż prace związane z badaniami półek datują się sprzed 10 –20 lat. Jest to raczej informacja na temat DR oparta na podstawowej monografii.
- Lwia część analizy bezpieczeństwa kolumn do destylacji reaktywnej poświęcona jest identyfikacji wielokrotnych stanów ustalonych i ich stabilności. Trafne określenie występowania tych stanów związane jest z wyborem właściwego modelu matematycznego. Który z modeli zaprezentowanych w pracy najlepiej nadaje się do tego celu ?
- Punkt 7.3 poświęcony badaniu kształtu pojemnika na katalizator powinien moim zdaniem znaleźć się w rozdziale trzecim, gdzie przedstawione są różne warianty konstrukcyjne półki. Czy nie należało skupić wysiłku badawczego właśnie na pojemnikach na katalizator w kształcie koperty ?

### Uwagi formalne

- Wielkość  $F [ m/s (kg/m^3)^{1/2} ]$  określona jest w spisie oznaczeń jako czynnik przepływu, a w podpisach pod rysunkami 4.10 – 4.18 nazywana jest czynnikiem przepływowym. Wydaje się, że lepiej stosować przyjętą już nazwę [85] czyli współczynnik obciążenia fazą gazową
- Wielkość  $d_z$  określona na str. 71 jako odległość pojedynczego pojemnika katalitycznego od ścianki kraty powinna wynosić  $d_z = (b - d_k)/2$ . Jest ona jednak zdefiniowana wcześniej na str. 69 jako odległość pojemnika od ściany kraty liczona dla obu stron  $d_z = b - d_k$ . Stąd nie jest jasne jaką wielkość należy podstawić we wzorze kryterialnym?

- Pierwszy punkt założeń do modelu hydrauliki na str. 67 nie jest założeniem ale zdefiniowaniem pewnej nazwy. Z kolei drugi punkt również nie jest założeniem lecz jest stwierdzeniem pewnego faktu.
- Szereg rysunków w pracy jest zaczerpniętych z monografii [4] bez bezpośredniego odwołania się do tej pozycji. Prawdopodobnie związane jest to z faktem przetłumaczenia opisów na język polski. Np. Rys 2.19 znajduje się na str. 184 tej monografii z odwołaniem, że zaczerpnięty jest z pracy Baur'a i Krishny [39].
- W spisie literatury jest sporo błędów; np. „Pioń” zamiast „Pikoń” [74].
- Przy zgłoszeniu patentowym nie podano numeru zgłoszenia.
- Niektóre prace w języku rosyjskim zacytowano w polskiej transkrypcji, a niektóre grażdanką (niestety z błędami).
- Pozycja literaturowa [52] powtarza się jako [73].
- Na str. 65 powołane są wzory (1.22) oraz (1.24), których nie ma w pracy.
- Równanie (2.2) jest błędne, gdyż pominięto znak + pomiędzy pierwszymi członami po prawej stronie.
- W podsumowaniu na str. 146 jeśli wyliczamy „polskie akcenty” w destylacji reaktywnej to wydaje się, że należałoby wspomnieć również prace prof. Andrzeja Góraka oraz prof. Krzysztofa Alejskiego.

Te uwagi krytyczne nie umniejszają w niczym wartości pracy, która napisana jest jasno i zrozumiale, choć Autor nie ustrzegł się pewnych manierezmów. Również korekta została przeprowadzona względnie starannie.

### Ocena końcowa

Reasumując, praca prezentuje dobry poziom naukowy i w pełni odpowiada wymogom stawianym rozprawom doktorskim przez „Ustawę o tytule naukowym i stopniach naukowych”. Z satysfakcją stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy przez Radę Naukową Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej i dopuszczenie mgr inż. Maksymiliana Gądka do publicznej obrony przedłożonej pracy.



*Handwritten signature in blue ink.*