POLITECHNIKA POZNAŃSKA

prof. dr hab. inż. Marek Ochowiak
WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej
ul. Berdychowo 4, 61-131 Poznań, tel. +48 61 665 2789
e-mail: marek.ochowiak@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

Poznań, 12 listopada 2026 roku

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Sławomira Szczeblewskiego

pt. „Opracowanie i charakterystyka metody redefiniowania prowadzenia procesów chemicznych z wykorzystaniem modelowania matematycznego w procesie wytwarzania sody metodą Solvaya"

Podstawą sporządzenia niniejszej recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Gdańskiej z dnia 13 października 2026 roku w sprawie wyznaczenia recenzentów w przewodzie doktorskim mgr. inż. Sławomira Szczeblewskiego. Na mocy tej uchwały zostałem wyznaczony na recenzenta wymienionej rozprawy doktorskiej.

Rozprawa mgr. inż. Sławomira Szczeblewskiego, przygotowana pod kierunkiem dr. hab. inż. Jacka Gębickiego, prof. Politechniki Gdańskiej, dotyczy modelowania procesu produkcji sody metodą Solvaya. Badania wykonano we współpracy z Qemetica Soda Polska S.A., w ramach doktoratu wdrożeniowego. Po lekturze pracy uważam, że Autor dobrze wykorzystał możliwość prowadzenia badań w zakładzie przemysłowym, a przyjęty problem ma znaczenie wykraczające poza potrzeby jednej instalacji.

Wybór tematu uważam za trafny. Z historią metody Solvaya wiąże się pewien interesujący fakt. Pierwszy patent Ernesta Solvaya został unieważniony, ponieważ sama reakcja chemiczna prowadząca do otrzymywania sody była już wcześniej znana. Dopiero kolejny patent, z 1863 roku, dotyczył odpowiedniego zestawienia aparatów i sposobu prowadzenia poszczególnych operacji. O sukcesie tej technologii zadecydowało więc nie odkrycie nowej reakcji, lecz rozwiązanie problemu inżynierskiego. Co ciekawe, po ponad 160 latach sytuacja jest w pewnym sensie podobna. Podstawy chemiczne procesu pozostają te same, natomiast nadal poszukuje się możliwości poprawy jego efektywności, zwłaszcza w zakresie zużycia energii i wykorzystania istniejącej aparatury. W tym kontekście temat podjęty przez Doktoranta uważam za szczególnie trafny. Pokazuje on, że nawet w tak dobrze poznanej technologii można jeszcze znaleźć możliwości jej udoskonalenia. Przy skali produkcji sody nawet niewielka zmiana jednostkowego zużycia pary może przynieść zauważalny wynik ekonomiczny. Właśnie dlatego poszukiwanie rezerw energetycznych w węźle regeneracji amoniaku ma sens zarówno badawczy, jak i przemysłowy.

Rozwiązanie zaproponowane przez Doktoranta ma czytelną logikę: odwzorować pracę wybranych aparatów, ocenić proponowane zmiany na modelu, a następnie zweryfikować wybrane warianty podczas prób produkcyjnych. Tę ostatnią część programu oceniam szczególnie wysoko. Model, którego wyników nie skonfrontowano z rzeczywistym obiektem, miałby w takiej pracy znacznie mniejszą wartość.

1. Treść i zakres rozprawy

Badania skoncentrowano na instalacji destylacji i regeneracji amoniaku z ługu pofiltracyjnego, przede wszystkim na aparatach RH–DS i powiązanym z nimi układzie chłodzenia gazów oraz podgrzewania ługu. Jest to odpowiedni obszar do badań modelowych, ponieważ zmiana warunków pracy jednego aparatu może wpływać na bilans całego węzła.

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

prof. dr hab. inż. Marek Ochowiak
WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej
ul. Berdychowo 4, 61-131 Poznań, tel. +48 61 665 2789
e-mail: marek.ochowiak@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

Opracowanie liczy 155 stron. Po wprowadzeniu i części literaturowej zamieszczono cel badań, część badawczą, wnioski, bibliografię, wykaz dorobku oraz załączniki. Znajdują się w nim również streszczenia polskie i angielskie. Przyjęta struktura jest czytelna; poszczególne rozdziały następują po sobie we właściwej kolejności.

Część literaturową otwiera opis procesu Solvaya. Omówiono wypalanie wapna, przygotowanie mleka wapiennego, oczyszczanie solanki, absorpcję amoniaku, karbonizację, filtrację, kalcynację i regenerację amoniaku. Autor przedstawił również rozwiązania stosowane w zakładzie Qemetica Soda Polska S.A. Rozdział jest dość obszerny, ale w tym przypadku uznaję to za uzasadnione: pozwala zrozumieć, skąd pochodzą strumienie trafiające do badanej instalacji i jakie zadania pełni ona w całej technologii. Autor charakteryzuje aparaty, ich zadania i połączenia, a ponadto przedstawia przepływy surowców, produktów pośrednich i energii. Schematy technologiczne dobrze ilustrują zależności między urządzeniami. Dla czytelnika spoza przemysłu sodowego jest to pomocne, ponieważ późniejsze modele odwołują się właśnie do tej konfiguracji. Drugi rozdział literaturowy dotyczy cyfrowych bliźniaków. Doktorant omawia definicje, dostępne środowiska obliczeniowe i przykłady zastosowania w przemyśle chemicznym. Jest to dobry przegląd możliwości tej technologii.

Na stronie 54 określono główny cel pracy, którym było potwierdzenie zasadności wykorzystania zintegrowanych modeli cyfrowych bliźniaków do analizy i optymalizacji pracy instalacji odzysku amoniaku z ługu pofiltracyjnego, obejmującej aparaty RH–DS, oraz układu chłodzenia gazów podestylacyjnych. Autor założył odwzorowanie wzajemnie powiązanych procesów w środowisku wirtualnym, umożliwiającym analizę wpływu wybranych parametrów technologicznych na pracę całego węzła. Istotnym elementem badań było opracowanie modeli mechanistycznych poszczególnych aparatów RH, DS i PLM, a następnie ich połączenie w kaskadowe i sekwencyjne układy symulacyjne z wykorzystaniem funkcji Saved Variable Set. Zakres prac obejmował również przygotowanie modelu pełnej instalacji destylacji, z uwzględnieniem układu odzysku amoniaku z form wolnych (RG–CC), chłodnicy gazów podestylacyjnych KDS, współpracujących wymienników ciepła oraz procesu podgrzewania ługu pofiltracyjnego. Zaplanowano ponadto określenie kluczowych zmiennych procesowych i ich wartości granicznych, a następnie wykonanie symulacji bilansów energetycznych części RH kolumny destylacyjnej oraz układu podgrzewania ługu.

Osobno sformułowano cel wdrożeniowy, związany z wykorzystaniem wyników badań w zakładzie Qemetica Soda Polska S.A. w Inowrocławiu, wykazaniem możliwości ograniczenia zużycia ciepła procesowego oraz oceną efektów ekonomicznych proponowanych zmian. Tak określony program badań uważam za właściwy. Nie ogranicza się on do opracowania modeli pojedynczych aparatów, lecz obejmuje analizę ich współpracy, ocenę bilansów energetycznych i praktyczne wykorzystanie wyników symulacji. W mojej ocenie właśnie to połączenie modelowania matematycznego z rzeczywistymi problemami eksploatacyjnymi stanowi istotną wartość rozprawy. Zakres zamierzeń jest odpowiedni do doktoratu wdrożeniowego i odpowiada przedstawionym dalej wynikom.

Część badawczą otwiera opis modeli mechanistycznych zaimplementowanych w gPROMS Process 2024.1.0. Podstawą obliczeń są równania bilansowe, właściwości fizykochemiczne mediów i zależności opisujące wymianę ciepła oraz masy. Wybór takiego podejścia jest właściwy. Przy ocenie zmian warunków procesu ważna jest bowiem możliwość powiązania odpowiedzi modelu z mechanizmem fizycznym, a nie wyłącznie z dopasowaniem do danych pomiarowych.

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

prof. dr hab. inż. Marek Ochowiak
WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej
ul. Berdychowo 4, 61-131 Poznań, tel. +48 61 665 2789
e-mail: marek.ochowiak@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

Opisano następnie sposób pozyskiwania danych, w tym pomiary temperatury, ciśnienia, pH, przewodności i strumieni przepływu. Wartość tej części polega przede wszystkim na wykorzystaniu danych z normalnej eksploatacji. Dane laboratoryjne, zwłaszcza uzyskane na niewielkiej instalacji, nie zawsze oddają zmienność występującą w produkcji ciągłej.

W obliczeniach właściwości termodynamicznych Autor wykorzystał między innymi model Helgesona–Kirkhama–Flowersa (HKF). Ma to istotne znaczenie ze względu na złożony skład ługu pofiltracyjnego. Przy analizie oszczędności energetycznych różnica w przyjętej entalpii czy gęstości medium może być równie ważna jak niewielka zmiana temperatury.

W następnych rozdziałach przedstawiono modele aparatów RH, DS i PLM. Poszczególne elementy połączono w sekwencyjne układy obliczeniowe, wykorzystując funkcję Saved Variable Set. Rozwiązanie pozwoliło przekazywać wybrane parametry między modelami urządzeń i analizować węzeł technologiczny w powiązaniu z jego pozostałymi częściami. Właśnie możliwość oceny współpracy aparatów, a nie wyłącznie ich pojedynczych charakterystyk, stanowi ważny element wykonanych prac. Słusznie uwzględniono różnice konstrukcyjne pomiędzy RH_A i RH_C. Pierwszy z tych aparatów odwzorowano jako skruber z pierścieniami Palla, drugi jako aparat barbotażowy z półkami sitowymi. Wymiana ciepła i masy przebiega w nich w odmiennych warunkach kontaktu faz.

Rozdział 6 dotyczy oceny zgodności wyników symulacji z danymi produkcyjnymi. Zastosowano standaryzację z-score, analizę reszt i empiryczną dystrybuantę ECDF. Autor porównuje otrzymywane wartości z rozkładami parametrów rejestrowanych w zakładzie i na tej podstawie kwalifikuje wyniki jako zgodne lub odbiegające od typowej zmienności procesu. Samą potrzebę takiego sprawdzenia oceniam pozytywnie.

W rozdziale 7 przeanalizowano wpływ obniżenia temperatury ługu po aparatach RH na zużycie ciepła. [redacted] Zestawiono wartości obliczone z parametrami procesu oraz pokazano, jak zmiana warunków pracy przekłada się na bilans energetyczny. Jest to jeden z zasadniczych wyników rozprawy.

W rozdziale 8 Autor zajął się podgrzewaniem ługu pofiltracyjnego doprowadzanego do destylacji. Rozpatrzył zmiany parametrów węzła chłodzenia gazów, wykonał obliczenia bilansowe i przygotował na ich podstawie próby produkcyjne. Ta część jest szczególnie interesująca, ponieważ pozwala porównać zachowanie instalacji przewidywane przez model z zachowaniem rzeczywistym.

Za ważny fragment rozprawy uznaję opis prób produkcyjnych. W badaniach nad działającą instalacją nie można swobodnie zmieniać wszystkich parametrów, dlatego odpowiednie przygotowanie prób na podstawie wcześniejszych symulacji ma duże znaczenie. Autor wykazał, że model może służyć nie tylko do bilansowania procesu, lecz również do wyboru wariantów wartych sprawdzenia w praktyce.

W rozdziale 9 zestawiono efekty energetyczne. Obniżenie temperatury ługu po RH ma, według danych produkcyjnych, odpowiadać ograniczeniu zużycia ciepła [redacted] GJ/t sody, a według symulacji o [redacted] GJ/t. Dla wariantu podgrzewania ługu pofiltracyjnego podano odpowiednio [redacted] GJ/t. Różnice między tymi wartościami są istotne dla oceny modelu, ale nie zmieniają ogólnego wniosku, że rozpatrywane zmiany mogą poprawić bilans cieplny instalacji.

Autor przeliczył następnie te efekty na potencjalne korzyści finansowe. Dla produkcji [redacted] tys. ton sody rocznie i ceny ciepła [redacted] zł/GJ oszacował oszczędności na [redacted] zł rocznie. Wykorzystał też

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

prof. dr hab. inż. Marek Ochowiak
WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej
ul. Berdychowo 4, 61-131 Poznań, tel. +48 61 665 2789
e-mail: marek.ochowiak@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

NPV, IRR i okres zwrotu. Słusznie, ponieważ w doktoracie wdrożeniowym ocena ekonomiczna ma znaczenie. W rachunku uwzględniono również koszty licencji oprogramowania gPROMS.

W załączniku C Autor pokazał, jak dochodził do końcowej postaci modeli. W latach 2022–2026 przeprowadzono 662 iteracje; 432 warianty odrzucono. Nie traktowałbym samej liczby prób jako miary oryginalności naukowej, lecz opis błędów, przyczyn odrzucenia modeli i wprowadzanych korekt uważam za potrzebny. Pozwala on zobaczyć, z jakimi problemami obliczeniowymi Doktorant rzeczywiście się zmierzył.

Wykaz dorobku obejmuje trzy publikacje związane z tematyką rozprawy w czasopismach „Processes", „Chemical Product and Process Modeling" oraz „Chemical and Process Engineering: New Frontiers". Zamieszczono również informacje o aktywności konferencyjnej i dwóch wdrożeniach przemysłowych. Publikacje te świadczą o podjęciu próby przedstawienia wyników badań także poza samym przedsiębiorstwem.

Zakres rozprawy uważam za odpowiedni do realizacji przyjętych celów badawczych. Praca obejmuje przygotowanie modeli, ich powiązanie, odniesienie wyników do danych przemysłowych oraz ocenę dwóch zmian eksploatacyjnych. Wartość tych badań oceniam przede wszystkim przez pryzmat tego ostatniego etapu, w którym model staje się narzędziem podejmowania decyzji technologicznych.

2. Ocena merytoryczna rozprawy – uwagi ogólne

Praca ma charakter interdyscyplinarny, ale jej zasadniczym obszarem pozostaje inżynieria procesowa. Doktorant wykorzystał wiedzę o aparaturze, właściwościach mieszanin, bilansowaniu energii i metodach numerycznych. Szczególnie dobrze wypadają fragmenty, w których przedstawia zależności pomiędzy konstrukcją urządzeń a parametrami ich pracy. Nieprzypadkowo wybrano węzeł destylacji i regeneracji amoniaku. Jest on silnie powiązany z pozostałymi częściami procesu, a parametry doprowadzanych strumieni wpływają na pracę wielu urządzeń. Model jednego podgrzewacza czy destylera nie pozwalałby prześledzić wszystkich tych zależności. Autor podjął więc próbę spojrzenia na węzeł jako na całość, co uważam za właściwe.

Za podstawowe osiągnięcie modelowe uznaję połączenie opisu poszczególnych aparatów w układ umożliwiający badanie zmian warunków technologicznych. Samodzielny model podgrzewacza niewiele powiedziałby o skutkach zmiany temperatury dla dalszych elementów destylacji. W rozprawie podjęto próbę uwzględnienia właśnie tych zależności, a więc problemu bliskiego rzeczywistej praktyce projektowej i eksploatacyjnej.

Cieszy mnie, że Autor nie sprowadził wszystkich urządzeń do identycznych bloków bilansowych. W aparatach skruberowych i sitowych inny jest charakter kontaktu faz, a w konsekwencji również przebieg wymiany ciepła i masy. Uwzględnienie tego zróżnicowania świadczy o zrozumieniu analizowanego procesu, nie tylko o sprawności obsługi programu.

Dokumentacja kolejnych iteracji pokazuje, że dojście do końcowej postaci modeli wymagało wielu prób i korekt. Jest to praca często niewidoczna w końcowych wynikach, ale w przypadku rozbudowanych układów obliczeniowych konieczna. Interesująca jest ponadto możliwość wykorzystania modelu jako wirtualnego czujnika składu gazów. W przemysłowej aparaturze nie wszystkie wielkości można mierzyć w sposób ciągły.

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

prof. dr hab. inż. Marek Ochowiak
WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej
ul. Berdychowo 4, 61-131 Poznań, tel. +48 61 665 2789
e-mail: marek.ochowiak@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

Obliczeniowe oszacowanie składu może więc dostarczać użytecznych informacji. To jednak zastosowanie, w którym szczególnie ważne są niezależna walidacja i świadomość granic dokładności modelu.

Największe znaczenie praktyczne mają, moim zdaniem, wyniki analiz cieplnych. Zmiany temperatury ługu po RH są niewielkie w porównaniu z temperaturą pracy węzła, a jednak w przeliczeniu na roczną produkcję prowadzą do oszczędności, których nie można pomijać. Jest to dobry przykład, jak dzięki właściwej analizie procesu można poszukiwać usprawnień bez zmiany podstawowej technologii.

Drugim analizowanym rozwiązaniem jest zwiększenie temperatury ługu pofiltracyjnego przed destylacją. Uważam ten kierunek za równie ważny, ponieważ wymaga spojrzenia na instalację jako układ wzajemnie powiązanych strumieni ciepła. Nie przesądzałbym jednak, że oszczędności obu wariantów można wprost dodać.

Warto zwrócić uwagę, że Autor przedstawia nie tylko punkty pracy uzyskane podczas symulacji, ale również rozkłady wybranych wielkości wewnątrz aparatów. Taka prezentacja pozwala łatwiej powiązać obserwowane różnice bilansowe z przebiegiem analizowanych zjawisk. Ocena pól procesowych ma dla inżyniera większą wartość niż podanie wyłącznie jednej liczby na wlocie i wylocie. Bardzo wysoko oceniam weryfikację wybranych wariantów podczas pracy instalacji. To istotna przewaga rozprawy wdrożeniowej nad analizą ograniczoną do symulacji. Porównanie wyników modelowych i produkcyjnych jest zachęcające. Dla obniżenia temperatury ługu po RH uzyskano wartości odpowiednio [redacted] i [redacted] GJ/t sody; przy podgrzewaniu ługu pofiltracyjnego różnica wynosi [redacted] GJ/t.

Określenie „cyfrowy bliźniak" sugeruje zwykle określony poziom integracji modelu z obiektem. Z rozprawy warto byłoby dowiedzieć się wprost, czy dane są aktualizowane automatycznie, jak często następuje synchronizacja i co dzieje się z parametrami modelu, gdy zmieniają się warunki produkcyjne.

Analiza ekonomiczna jest w doktoracie wdrożeniowym potrzebna i dobrze, że została wykonana. W rachunku uwzględniono koszty licencji gPROMS. Dla oceny trwałego wdrożenia znaczenie mogą mieć jednak również ewentualne nakłady na modernizację.

Do niewątpliwych osiągnięć Doktoranta zaliczam m.in. przygotowanie modeli aparatów RH, DS i PLM, ich integrację, uwzględnienie właściwości termodynamicznych ługu oraz porównanie wyników symulacji z pomiarami. Szczególną wagę przypisuję temu, że rezultaty modelowania wykorzystano do przygotowania prób produkcyjnych. W ten sposób wykazano sens praktyczny całego przedsięwzięcia.

Oceniam ten dorobek pozytywnie. Rozprawa pokazuje, że Doktorant potrafi przejść od problemu technologicznego do jego modelowego opisu, a następnie sprawdzić użyteczność proponowanej zmiany.

3. Ocena strony formalnej rozprawy – uwagi szczegółowe

Układ rozprawy uważam za poprawny. Część opisowa wprowadza do części obliczeniowej, a wyniki badań zostały przedstawione w kolejności umożliwiającej prześledzenie toku postępowania. Czytelnik bez większego trudu może ustalić, jakie zagadnienie analizowano i czemu służyły kolejne obliczenia.

Tekst jest zasadniczo napisany poprawnym językiem technicznym. Znalazłem jednak niekonsekwencje w oznaczeniach, numeracji podrozdziałów i sposobie zapisu jednostek. Zwracam też uwagę na używanie określeń „zgodność", „dokładność" i „walidacja" bez dostatecznego rozróżnienia. Przy prezentacji modeli matematycznych jest to coś więcej niż kwestia stylistyczna.

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

prof. dr hab. inż. Marek Ochowiak
WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej
ul. Berdychowo 4, 61-131 Poznań, tel. +48 61 665 2789
e-mail: marek.ochowiak@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

Załączone schematy i tabele są potrzebne i na ogół dobrze dobrane. Niektóre z rozbudowanych schematów technologicznych mogłyby mieć większą czcionkę albo zostać podzielone na fragmenty. W tabelach porównujących model z danymi produkcyjnymi należałoby natomiast konsekwentnie oddzielać wartości mierzone, przyjęte i obliczone.

Najważniejsza uwaga dotyczy walidacji opisanej w rozdziale 6. Przyjęte kryterium $|z| \leq 2$ mówi, gdzie wynik modelu leży względem rozkładu obserwowanych danych produkcyjnych. Nie jest natomiast równoznaczne z formalnym potwierdzeniem dokładności modelu. Jeżeli proces ma dużą zmienność, kryterium można spełnić także przy błędzie, który z punktu widzenia inżynierskiego nie jest mały.

W rozdziale 6.2 przedstawiono analizę reszt, natomiast w rozdziale 6.3 – empiryczną dystrybuantę ECDF. Przyjęte metody pozwalają ocenić rozkład wyników, jednak nie stanowią jednoznacznego potwierdzenia dokładności modelu. Moim zdaniem analizę warto byłoby uzupełnić o klasyczne miary błędu, takie jak średni błąd bezwzględny (MAE) czy pierwiastek błędu średniokwadratowego (RMSE), oraz wskazać dane wykorzystane do niezależnej walidacji. Istotne byłoby również określenie wpływu niepewności pomiarów temperatury, strumieni przepływu i właściwości mediów na wyniki bilansów energetycznych. Jest to ważne, gdy różnica pomiędzy dwoma wariantami pracy wyrażana jest w setnych częściach GJ na tonę produktu.

W tabeli 18 (s. 121–122) zauważyłem niekonsekwencje rachunkowe dotyczące wariantu 50% ograniczenia dopływu wody chłodzącej. Dla danych produkcyjnych różnica temperatur 57,2°C i 27,7°C wynosi 29,5°C, a nie wpisane w tabeli 31,9°C; dla modelu różnica 56,0°C i 27,7°C wynosi 28,3°C, nie zaś 30,2°C. Warto zauważyć, że podane wartości ciepła Q50 odpowiadają raczej różnicom temperatur obliczonym bezpośrednio z temperatur wejścia i wyjścia. Może więc chodzić o błędne wpisy w tabeli, a nie o błąd samego bilansu. Ta sama tabela wskazuje na wyraźną różnicę gęstości ługu: 1118 kg/m³ w danych produkcyjnych i 1035 kg/m³ w modelu. Przy jednakowym przepływie objętościowym przekłada się to na inny strumień masowy i inną ilość ciepła. Powinno zostać wyjaśnione, czy jest to konsekwencja przyjętego modelu termodynamicznego, różnic składu mieszaniny czy sposobu wprowadzenia danych do symulacji.

Dodatkowa rozbieżność występuje pomiędzy tabelami 20 i 21. W tabeli 20 suma wskazanych oszczędności rocznych wynosi [redacted] zł, natomiast w tabeli 21 do rachunku przepływów pieniężnych wprowadzono [redacted] zł. Nie podważa to kierunku wniosków ekonomicznych, ale powinna zostać uzgodniona przed interpretacją wartości NPV i IRR. W opisie wdrożeń (s. 146) podano ponadto inne wartości jednostkowych i rocznych oszczędności energii niż w rozdziale 9 dla węzła RH odpowiednio [redacted] zamiast [redacted] GJ/t i [redacted] zamiast [redacted] GJ/rok, a dla podgrzewania ługu [redacted] zamiast [redacted] GJ/t i [redacted] zamiast [redacted] GJ/rok. Warto wyjaśnić, czy wynikają one z innych założeń, czy z niejednolitego sposobu prezentacji rezultatów.

W analizie ekonomicznej uwzględniono licencję gPROMS. Przyjęto natomiast zerowe koszty modyfikacji istniejącej instalacji, mimo że Autor wskazuje na możliwość dalszych prac w zakresie automatyki i chłodzenia gazów. Warto byłoby rozważyć także wariant rachunku uwzględniający ewentualne nakłady na te prace.

Zastosowanie gPROMS nie umniejsza wartości rozprawy, ale trzeba oddzielić własny wkład Doktoranta od możliwości gotowego środowiska obliczeniowego. Oczekiwałbym wskazania, które równania, modyfikacje aparatów i procedury ich łączenia powstały w ramach pracy, a które zostały zaczerpnięte z bibliotek programu.

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

prof. dr hab. inż. Marek Ochowiak
WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej
ul. Berdychowo 4, 61-131 Poznań, tel. +48 61 665 2789
e-mail: marek.ochowiak@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

W związku z powyższym proszę Doktoranta o ustosunkowanie się do pięciu zagadnień:

1) Na czym polega zasadniczy oryginalny wkład naukowy rozprawy? Które elementy opracowanych modeli oraz zastosowanej metodyki stanowią samodzielne rozwiązania Doktoranta, a które wynikają z wykorzystania dostępnych bibliotek i funkcji oprogramowania gPROMS Process? Czy opracowano nowe zależności matematyczne lub algorytmy, czy też nowość polega przede wszystkim na sposobie integracji istniejących rozwiązań modelowych?

2) Jak należy interpretować zastosowane kryteria walidacji statystycznej? W szczególności proszę o uzasadnienie przyjęcia kryterium $|z| \leq 2$ jako podstawy stwierdzenia zgodności modelu z procesem. Czy przeprowadzono niezależną walidację modeli na danych niewykorzystywanych podczas kalibracji i czy analizowano wielkość błędów predykcji za pomocą klasycznych wskaźników dokładności?

3) Jakie znaczenie dla dokładności bilansów energetycznych ma niepewność parametrów wejściowych? Proszę o wyjaśnienie rozbieżności dotyczących gęstości ługu pofiltracyjnego oraz różnic temperatur przedstawionych w tabeli 18. Czy oceniano wpływ tych wielkości na końcowe wyniki obliczeń i wyznaczone oszczędności energii?

4) W jakim zakresie opracowany system spełnia założenia cyfrowego bliźniaka? Czy model jest automatycznie synchronizowany z rzeczywistą instalacją przemysłową, czy też jego działanie opiera się na okresowej aktualizacji danych i wykonywaniu odrębnych symulacji?

5) Czy efekty energetyczne obu zaproponowanych rozwiązań mogą być sumowane? Czy analizowano możliwość ich jednoczesnego zastosowania oraz ewentualny wzajemny wpływ na pracę instalacji? W jaki sposób uwzględnienie kosztów modernizacji układów technologicznych i automatyki wpłynęłoby na przedstawione wskaźniki opłacalności ekonomicznej?

Pytania nie zmieniają mojej bardzo dobrej oceny pracy.

4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z rozprawą mgr. inż. Sławomira Szczeblewskiego oceniam ją pozytywnie. Autor podjął aktualny problem technologiczny, przeprowadził rozbudowane obliczenia i wykorzystał je do analizy pracy instalacji przemysłowej. Zaletą pracy jest jej silny związek z rzeczywistymi warunkami produkcji sody metodą Solvaya.

Badania odnoszą się do rzeczywistego problemu technologicznego i pokazują, że matematyczny opis połączonych aparatów może być przydatny w poszukiwaniu korzystniejszych warunków prowadzenia procesu. Dodatkowym atutem jest dostęp do danych przemysłowych oraz możliwość wykonania testów produkcyjnych.

Najwyżej oceniam opracowanie zintegrowanego modelu węzła destylacji i regeneracji amoniaku oraz jego zastosowanie do dwóch analiz energetycznych. Szczególne znaczenie ma sprawdzenie wybranych zmian podczas pracy instalacji. To właśnie ten etap odróżnia pracę od opracowania, w którym przedstawiono wyłącznie wyniki symulacji.

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

prof. dr hab. inż. Marek Ochowiak
WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej
ul. Berdychowo 4, 61-131 Poznań, tel. +48 61 665 2789
e-mail: marek.ochowiak@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

Doktorant wykazał dobrą znajomość technologii, aparatury i metod obliczeniowych. Potrafił wykorzystać je do oceny problemu istotnego dla zakładu przemysłowego. Z tego punktu widzenia przyjęty program badawczy i sposób jego realizacji zasługują na pozytywną ocenę.

Uważam, że cel pracy został osiągnięty. Wskazano możliwości ograniczenia energochłonności wybranego węzła oraz przedstawiono wyniki prób, które wspierają wnioskowanie o ich użyteczności. Praca stanowi także podstawę do dalszych badań nad dokładnością i bieżącą aktualizacją modelu.

Reasumując, stwierdzam, że recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska mgr. inż. Sławomira Szczeblewskiego pt. „Opracowanie i charakterystyka metody redefiniowania prowadzenia procesów chemicznych z wykorzystaniem modelowania matematycznego w procesie wytwarzania sody metodą Solvaya" spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Praca przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie nauki chemiczne oraz wykazuje jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W związku z powyższym wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Gdańskiej o dopuszczenie mgr. inż. Sławomira Szczeblewskiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Ochowiak

Prof. dr hab. inż. Marek Ochowiak
Politechnika Poznańska
Wydział Technologii Chemicznej
Kierownik Zakładu Inżynierii i Aparatury Chemicznej