Łódź, 8 sierpnia 2014 r.

Prof. dr hab. inż. Zdzisław Pakowski
Politechnika Łódzka
Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska
Zakład Procesów Cieplnych i Dyfuzyjnych

Recenzja pracy doktorskiej

mgr inż. Justyny Szadzińskiej
nt. „Efektywność suszenia konwekcyjnego w warunkach okresowo zmiennych"
wykonanej w Instytucie Technologii i Inżynierii Chemicznej
Wydziału Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej

Promotor prof. dr hab. inż. Stefan J. Kowalski

Ocena wyboru tematyki i celu pracy

Suszenie konwekcyjne w warunkach okresowo zmiennych (ang. *Intermittent Drying* - ID) jest procesem znanym już dość długo. Opisał je A.W. Łykow w swej fundamentalnej pracy „Teoria suszenia" z 1950 r. Przez pewien czas proces ten cieszył się zainteresowaniem badaczy, jednakże jego potencjał nie był dostatecznie wykorzystany w przemyśle a suszarki oparte o tę zasadę występują stosunkowo rzadko. Powszechnie uważa się, że suszenie ID powoduję zmniejszenie zużycia energii w procesie i poprawę jakości produktów termoczułych ale w zamian wydłużenie czasu suszenia. Prawdopodobnie to ostatnie było przyczyną słabego zainteresowania tym procesem.
Jak wynika z analizy rynku obecnie wzrasta zapotrzebowanie na produkty organicznego rolnictwa i żywność produkowaną w oparciu o te produkty. Ważną metodą utrwalania żywności jest suszenie. Aspekt jakościowy suszenia ID zaczyna odgrywać ważną rolę jako czynnik stymulujący rozwój nowych i powrót do zaniechanych metod suszenia, takich które w największym stopniu zachowują walory prozdrowotne produktu przy jego rozsądnej cenie. Na tej fali pojawia się dużo nowych prac poświęconych suszeniu ID. Jest ono konkurencyjne w stosunku do drogich metod suszenia takich jak liofilizacja, suszenie próżniowe czy mikrofalowo-próżniowe, gdyż może być stosowane w tradycyjnych konwekcyjnych suszarkach okresowych, wyposażonych jedynie w odpowiedni sterownik. Oczywiście obróbka surowca przed procesem suszenia taka jak odwadnianie osmotyczne jest, w przypadku produktów rolniczych, dodatkowym narzędziem wiodącym do poprawy walorów konsumpcyjnych produktu końcowego.
Jak wynika z treści rozprawy Doktorantka przyjęła za cel pracy zbadanie zarówno aspektów energetycznych procesu ID jak i jego wpływu na jakość produktu końcowego. W świetle powyższego uważam, dobór tematyki jak i tak określonego celu pracy za właściwy.

Ocena merytoryczna pracy

Realizację pracy Autorka podzieliła na następujące zadania:

- Analiza literatury dotyczącej aspektów energetycznych i jakościowych suszenia ID wraz z przygotowywaniem surowca, w tym blanszowaniu, odwadnianiu osmotycznym oraz obróbce ultradźwiękowej.
- Badanie eksperymentalne procesu suszenia ID kształtek wykonanych z glinki kaolinowej. Do badania aspektów jakościowych, oprócz oceny wizualnej użyto pomiaru emisji akustycznej jako sposobu identyfikacji krytycznego dla jakości stadium procesu.
- Badaniu procesu suszenia ID krajanki wybranych warzyw i owoców: marchwi, buraka ćwikłowego i mrożonej wiśni. Badania przeprowadzono zarówno bez obróbki wstępnej jak i z obróbką wstępną polegającą na blanszowaniu i odwadnianiu osmotycznym, w tym wspomaganym ultradźwiękowo. Aspekty jakościowe badano mierząc retencję b-karotenu w przypadku marchwi, betaniny w przypadku buraka i witaminy C w przypadku wiśni. Ponadto sprawdzano zmianę barwy produktu i jego aktywność wody.
- Empirycznemu modelowaniu krzywej kinetyki suszenia i krzywej temperaturowej przy użyciu modelu obiektu o parametrach skupionych. Parametry modelu uzyskano bądź na podstawie wyników eksperymentu suszenia ID, bądź z zależności termodynamicznych zmierzonych dla materiału czy uzyskanych z literatury.

Etapy te prowadzą do określonego we wstępie celu pracy, chociaż brakuje jasnego sformułowania tego celu i tezy, którą Autorka pragnęła udowodnić, w osobnym punkcie. Zważywszy na wzajemne proporcje powyższych etapów badań uważam, że praca ma charakter bardziej doświadczalno-teoretyczny niż, jak to określiła Autorka we wprowadzeniu do swej pracy, teoretyczno-doświadczalny.

Realizacja etapów pracy wg powyższego zestawienia odbywała się w sposób przemyślany i logiczny, jednakże niektóre elementy programu badawczego lub ich interpretacja budzą moje wątpliwości czy krytykę. Najważniejsze z nich przytoczę poniżej.

- W punkcie 1.3 Autorka nie precyzuje sposobu realizacji procesu ID w suszarkach, które tam opisuje. W istocie pisze jedynie o suszarkach okresowych co można pomylić z pojęciem „suszenie niestacjonarne" stosowanym w pracy na określenie procesu ID. Suszenie ID jest możliwe również w suszarkach ciągłych, gdzie zmienność warunków suszenia realizuje się przez stosowanie oddzielnych komór lub stref. Część z wymienionych w pracy suszarek może pracować w obu trybach.
- Ocena efektywności energetycznej suszenia wymaga sprecyzowania jakiegoś porównywalnego kryterium, z uwagi na różnorodność możliwych rozwiązań aparaturowych. W porównywaniu efektywności energetycznej suszarek konwekcyjnych stosuje się od dawna wskaźnik ilości energii cieplnej netto na odparowanie 1 kg wody (jednostkowe zużycie ciepła – *Strumiłło, 1983* –str. 210). Wskaźnik ten wynosi np. dla suszarek fluidalnych 2-3-krotność ciepła parowania wody. Doktorantka porównuje jedynie całkowitą energię elektryczną pobraną przez stanowisko badawcze w procesie suszenia konwencjonalnego i suszenia ID (str. 70). Jak wiadomo część tej energii zużyta została na chłodzenie powietrza, dlatego trudno tu odnaleźć wpływ zmienności warunków suszenia na efektywność energetyczną.

- Również w ocenie jakości suszonych próbek kaolinu (Rozdz. 5) brak sprecyzowanego kryterium ilościowego oceny jakości produktu. Oceny dokonywano jedynie porównawczo porównując intensywność pęknięć czy intensywność EA w trakcie procesu. Nie wiadomo jednak czy próbki uzyskane przez suszenie ID, choć najlepsze w badanych warunkach, mają jakość akceptowalną przez przemysł.
- Na str. 81 Doktorantka podaje, że w trakcie odwadniania osmotycznego wspomaganego ultradźwiękami temperatura była, na skutek dyssypacji energii akustycznej, o 5 stopni wyższa (tj. wynosiła 30°C) niż przy odwadnianiu zwykłym. Wystarczyło podnieść temperaturę roztworu podczas odwadniania zwykłego do 30°C aby zauważyć wpływ ultradźwięków na szybkość procesu, a tak nie można wykluczyć wpływu temperatury.
- Jaki był cel suszenia mrożonych wiśni i czy te wyniki będą przydatne w praktyce? Suszy się przecież świeże wiśnie.
- Na krzywych suszenia ID (np. rys. 6.2 czy 7.2) obserwuje się wzrost zawartości wilgoci materiału podczas cyklu chłodzenia. Jest to oczywiście zjawisko niekorzystne. Jaka jest jego przyczyna?
- Użyty do symulacji model obiektu o parametrach skupionych jest modelem typowo empirycznym i nie wnosi niczego do wyjaśnienia przyczyn obserwowanych zjawisk, gdyż nie daje możliwości symulacji wewnętrznych profili zawartości wilgoci i temperatury. Istotą suszenia ID jest bowiem relaksacja tych profili.
- W użytym modelu niektóre parametry były dopasowywane na podstawie eksperymentu. Które to były parametry i jakie wartości uzyskano? Jaka była procedura identyfikacji tych parametrów?

Ocenę pracy utrudnia niewielka liczba rysunków przedstawiających wyniki eksperymentalne i brak na nich wszystkich mierzonych parametrów. Odniosłem również wrażenie, że Doktorantka zajęła się głównie poszukiwaniem optymalnych parametrów procesu dobierając odpowiednio jego parametry, bez poszukiwania przyczyn takiego a nie innego wpływu tych parametrów na proces. Niezaprzeczalnie zakres badań był bardzo szeroki i trudno było poświęcić równie wiele uwagi wszystkim aspektom badanego procesu.
Do oryginalnych wyników tej pracy zaliczam stwierdzenie, że oscylacje o zmiennej częstotliwości nie poprawiają efektywności procesu ID w porównaniu do oscylacji o stałej częstotliwości (str. 73), stwierdzenie, że retencja składników termoczułych w warzywach i owocach jest lepsza podczas suszenia ID niż analogicznego suszenia w stałych warunkach (str. 84, 94 i 103) jak również stwierdzenie, że suszenie ID może skrócić czas suszenia (np. str. 92). Wnioski te wraz z innymi zawarła Autorka w rozdziale Podsumowanie i wnioski.
Podobała mi się również konsekwencja, z którą Autorka podawała błędy pomiarowe wszystkich pomiarów.

Ocena formalna pracy

Praca zawiera 140 stron i dzieli się na 10 rozdziałów. Spis literatury obejmuje 115 pozycji. Struktura pracy składa się z wprowadzenia, zawierającego cel pracy, części teoretycznej z analizą literatury, części doświadczalnej, podsumowania i wniosków oraz spisu literatury i dorobku własnego.

Praca napisana jest zwięźle i klarownie a wywód jest logiczny. Doktorantka nie uniknęła jednak typowych dla prac doktorskich błędów, które zreasumuję poniżej.

- Nie wyodrębniono osobnego rozdziału bądź punktu z celem pracy. Powinien on uzasadniony wynikami badań literaturowych.
- W spisie literatury pominięto cytowane w tekście pracy publikacje Vaquiro (str. 17), Jangama i Mujumdara (str. 24) czy Musielaka (str. 46). Szkoda, że Autorka nie wspomniała monografii Liuboszyca i in. z roku 1969 nt. „Suszka dispersnych termoczuwstwitelnych materiałów", która w całości jest poświęcona suszeniu ID.
- Nie podano źródeł rysunków pokazanych w części teoretycznej.
- Pozostawiono sporą liczbę literówek takich jak np. ciechy zamiast cechy, absorbcja zam. absorpcja, batanina zam. betanina, droży zam. drożdży, kilu zam. kilku czy kopalnianych zam. kopalnych.
- Kłopot sprawia brak spisu oznaczeń. I tak np. zawartość wilgoci oznaczana w pracy X ma czasem jednostkę % i jest liczona na masę wilgotną (str. 59) a w innych miejscach jednostkę kg/kg s.m. (np. str. 63). Dodatkowy zamęt wprowadza równanie 4.1, z którego wynika, że X [kg/kg] jest liczone na masę wilgotną a Autorka podaje, że na suchą oraz pojawiająca się na str. 96 jednostka $kgkg^{-1}mm$.
- We wzorze 2.2 n_1 to ilość moli powietrza a nie substancji rozpuszczonej.

Większości tych błędów można było uniknąć przy starannej korekcie maszynopisu.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Stwierdzam, że uzyskane w przedstawionej do recenzji rozprawie doktorskiej wnioski, dotyczące wpływu suszenia w warunkach okresowo-zmiennych na sprawność energetyczną procesu i jakość produktu, są oryginalne i przydane do celów aplikacyjnych a przedstawiona do recenzji praca spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę o stopniach i tytule naukowym (Dziennik Ustaw, 14 marca 2003).
Ponadto stwierdzam, że dorobek Autorki obejmuje 6 publikacji w czasopismach recenzowanych i 4 w materiałach konferencyjnych.

W związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Justyny Szadzińskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.