

dr hab. inż. Krzysztof Bieńczak
prof. nadzw. Politechniki Poznańskiej
ul. Hugona Kołłątaja 138
61-421 Poznań

Poznań, 18.05.2023 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Konrada Rojcewicza pt.:

„Analiza procesu suszenia i oceny właściwości trocin i pelletu w zmodyfikowanej suszarce fontannowej”

Opinia została opracowana na zlecenie prof. dr. hab. inż. Krzysztofa Kurzydłowskiego Dyrektora Instytutu Inżynierii Mechanicznej Politechniki Białostockiej (umowa o dzieło nr 31/WM/2023).

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Zbigniew Oksiuta, prof. uczelni.

1. Zawartość rozprawy

Recenzowana rozprawa obejmuje 176 stron podzielonych na 8 rozdziałów, wstęp, podsumowanie i wnioski. Dodatkowo abstract w języku angielskim, wykaz oznaczeń, literaturę zawierającą 216 pozycji, spis rysunków i spis tabel.

W treści rozprawy zawarto:

Wstęp, gdzie podano wprowadzenie w zakres tematyczny rozprawy.

Przegląd literatury dotyczący metod suszenia biomasy. W ramach tego rozdziału scharakteryzowano biomasę jako ekologiczne paliwo odnawialne. Wykorzystanie biomasy jako paliwa wymaga usunięcia z niej nadmiaru wody w procesie suszenia. Suszenie jest operacją bardzo energochłonną. Dlatego też w podpunkcie 1.2 Doktorant przedstawił technologię suszenia trocin w aspekcie produkcji pelletu. Następnie

scharakteryzował trociny powstające podczas obróbki drewna w tartaku. W procesie suszenia mogą powstać liczne związki chemiczne np. lotne związki organiczne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, CO₂, NO_x, SO₂. Autor w oparciu o źródła literaturowe podaje problemy, które należy rozwiązać, aby proces suszenia zmieszanych trocin był efektywny. Problemami tymi są sortowanie i usuwanie zanieczyszczeń, stabilność procesu fontannowego, odzysk ciepła, minimalizacja emisji szkodliwych substancji. W celu doboru parametru złoża fontannowego w pracy przedstawiono charakterystykę wiórów i trocin pochodzących z różnych urządzeń tnących. Następnie Doktorant stwierdził iż ilość substancji emitowanych z drewna podczas suszenia zależy od temperatury i czasu suszenia. W punkcie 1.4 Autor przedstawia teoretyczne podstawy procesu suszenia oraz modele matematyczne stosowane do opisu kinetyki procesu suszenia biomasy. Do dalszego wykorzystania rekomenduje model Newtona i model oparty na uproszczonym II prawie Ficka. Jako kryterium wyboru tych modeli Doktorant przyjął stosowanie ich przez innych autorów. Szkoda, że nie przeprowadził ich głębszej dyskusji. Następnie dokonał klasyfikacji urządzeń stosowanych do suszenia biomasy oraz opis suszarek:

- bębnowych,
- taśmowych,
- strumieniowych,
- fluidyzacyjnych.

Szerzej w rozprawie zostały omówione systemy fluidalne. Przytoczono z literatury informacje na temat złóż fluidalnych i fontannowych.

W podsumowaniu analizy literaturowej Doktorant stwierdził, iż proces suszenia trocin będzie realizowany w suszarce fontannowej.

Zasadniczym celem pracy (określonym w rozdziale 3) jest propozycja modyfikacji istniejących rozwiązań konstrukcyjnych i wykonanie prototypu urządzenia fontannowego przystosowanego do suszenia trocin tartacznych o zróżnicowanej wilgotności i morfologii w kontekście dalszej produkcji granulatu opałowego. Jako tezę przyjęto „Poprawę efektywności procesu suszenia zmieszanych trocin tartacznych oraz uzyskanie wysokiej

jakości granulatu opałowego o zmniejszonej emisji toksycznych związków można uzyskać poprzez modyfikację systemu fontannowego oraz użycie niskotemperaturowego medium suszącego”.

W rozdziale 4. Metodyka i materiał użyty do badań Autor stwierdził, iż badania własne podzielono na etapy:

- charakterystykę suszonych materiałów,
- ocenę suszenia w zmodyfikowanej suszarce,
- badania właściwości pelletu.

W pierwszej kolejności zostały przedstawione zależności opisujące suszone trociny. W sposób interesujący przedstawiono badania hydrodynamiki złoża. Wykonane badania pozwoliły wygenerować dane wejściowe do obliczeń i symulacji komputerowej suszarki. Autor podaje dane wejściowe do obliczeń:

- parametry komory suszarniczej,
- parametry trocin,
- parametry prowadzonego procesu,

Charakteryzuje program obliczeniowy oraz siatki. W dalszej części omawianego punktu przedstawione zostały metody pomiaru:

- temperatury,
- ciśnienia,
- prędkości przepływu medium suszącego.

W punkcie 4.5 brak jest informacji o urządzeniach używanych do pomiaru temperatury i ciśnienia umożliwiających określenie dokładności pomiarów. Badano również emisję LZO w funkcji temperatury procesu w celu określenia takich warunków pracy, które zapewniają najmniejszą emisję szkodliwych substancji. W zakończeniu rozdziału zostały przedstawione badania własne pelletu.

W rozdziale 5 Autor zawarł wyniki badań własnych. W pierwszej kolejności omówił wyniki z badań trocin, które posiadały wilgotność ok. 40 %. Doktorant wykazał, iż parametry badanych trocin znacznie różniły się od danych literaturowych.

Zawartość popiołu zależna jest od sposobu suszenia. W przypadku suszenia przy użyciu gorących spalin jest większa o 50 % niż w przypadku suszenia gorącym powietrzem. Dla trocin zostały wyznaczone krzywe suszenia w zależności od temperatury medium suszącego.

Opis prototypowej suszarki fontannowej znajduje się w rozdziale 6. Autor główne parametry określił na podstawie informacji literaturowej, wykonanych symulacji komputerowych i badań własnych. Projektując suszarkę starał się do minimum ograniczyć straty energii cieplnej. Dla opracowanej konstrukcji suszarki Autor przeprowadził symulację złoża fontannowego.

W punkcie 6.2 opisano działanie prototypowej suszarki. Pokazano przepływ spalin, powietrza suszącego i suszonych trocin. Wstępny podgrzew powietrza odbywa się od ścian komory spalania i nagrzewnicy wodnej powietrza. Woda w nagrzewnicy ogrzewana jest ciepłem pobieranym ze spalin wylotowych. Zasadniczy podgrzew powietrza odbywa się w sposób przeciwpływowy spalinami w suszarce. Rozmieszczenie punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 49.

Wyniki badań uzyskanych w trakcie pracy prototypowej suszarki przedstawiono w rozdziale 7. Pokazano zmiany temperatury w funkcji czasu w wybranych punktach suszarki. Wyjaśniono występujące w trakcie testu fluktuacje. Porównano przebieg krzywych suszenia w zależności od temperatury powietrza suszonego. Sporządzono wykresy wydatku wentylatora w funkcji prędkości obrotowej, spadku ciśnienia w funkcji wydatku wentylatora. Następnie przedstawiono analizy energetyczne dla procesu suszenia oraz dokonano oceny emisji LZO i WWO i ilości popiołu.

Rozdział 8 poświęcony jest ocenie pelletu otrzymanego z wysuszonych trocin.

W rozdziale zamykającym pracę Autor stwierdza, że cel rozprawy został osiągnięty, a postawiona teza została udowodniona.

2. Cel i zakres pracy

Doktorant na podstawie analizy źródeł literaturowych i zebranych informacji z przemysłu zdefiniował cel pracy jako „... modyfikację istniejących rozwiązań konstrukcyjnych i wykonanie prototypu urządzenia fontannowego przystosowanego do suszenia trocin tartacznych”.

Określił zakres niezbędnych prac umożliwiających realizację sformułowanego celu. W skład wspomnianych prac wchodzi:

- studia literatury,
- badanie trocin,
- propozycja modyfikacji suszarki fontannowej,
- wykonanie urządzenia prototypowego,
- porównanie suszarki według autorskiego projektu z istniejącymi rozwiązaniami,
- analiza własności trocin po suszeniu i pelletu.

3. Ocena merytoryczna pracy

Autor w rozprawie podjął bardzo istotny problem wykorzystanie biomasy do celów energetycznych. Zagadnienie to jest bardzo istotne ze względu na wyczerpywanie się paliw kopalnych w ujęciu długookresowym jak i ze względu na aktualny kryzys energetyczny wywołany konfliktem w Ukrainie. Zagospodarowanie biomasy w miejscach jej wytworzenia powoduje także mniejsze obciążenie infrastruktury transportowej kraju. Proces spalania biomasy nie powoduje wzrostu ilości ditlenku węgla, ponieważ cyrkuluje w szeroko rozumianym obiegu zamkniętym. Można przyjąć iż wykonana praca wpisuje się w działania związane z polityką zrównoważonego rozwoju promowaną w Unii Europejskiej.

Za największy sukces Doktoranta należy uznać zbudowanie prototypu suszarki fontannowej działającej w sposób zgodny z oczekiwaniami. Realizacja tegoż celu wymagała przeprowadzenia niezbędnych badań do wykonania poprawnego rozwiązania instalacji suszarniczej. Szkoda iż w trakcie badań trocin z Puszczy Knyszyńskiej Autor nie poddał ocenie również trocin z innych kompleksów leśnych. Takie wyniki były by przydatne do budowy suszarni fontannowych użytkowanych w innych rejonach kraju.

W pracy słabo wyeksponowane są osiągnięcia Doktoranta, brak jest rozdziału, gdzie wyspecyfikowane były by modyfikacje dokonane w zaprojektowanej suszarce w odniesieniu do stosowanych w istniejących suszarkach. Czytający rozprawę musi sam wyszukiwać tych informacji w pracy. W przypadku używanej aparatury pomiarowej jest brak informacji o dokładności pomiarów.

Zastosowanie ożebrowania powierzchni wymiany ciepła w przypadku mediów wymieniających ciepło spaliny – powietrze nie wiele poprawi przepływ ciepła. Natomiast żebra są przydatne z powodów wytrzymałościowych.

Autor w rozprawie na rysunku 51 pokazuje, iż temperatura spalin na wylocie z suszarni wynosi około 80°C i nie ustosunkowuje się do problemu rosznienia. Problem ten jest znany z eksploatacji domowych kotłów gazowych.

W odniesieniu do rysunku 61 rodzi się pytanie czy w punktach pomiarowych 1 – 9 mierzony jest wydatek czy też prędkość. Użycie do pomiarów rurki Prandtla sugeruje pomiar prędkości. Rysunek 62 zatytułowany „Wyniki pomiarów zużycia energii elektrycznej suszarki fontannowej” wydaje się iż wyraża moc pobieraną przez suszarkę w funkcji czasu jej pracy. Na osi pionowej wykresu jest podpis „Pobierana moc elektryczna [kWh]”.

Na stronie 80 pracy wkradła się nieścisłość, SO₂ został nazwany krzemionką.

Zrezygnowałbym z używania pojęcia „omiatany”.

Autor pracy bardzo słusznie swoje rozwiązanie nazywa „prototypową suszarką” co sugeruje czytelnikowi, iż widzi potrzebę jej doskonalenia.

Proces doskonalenia wymaga poniesienia istotnych nakładów na realizację prac badawczych i budowę kolejnych wersji ulepszonej suszarki. Myślę, iż Doktorant posiada takowe przemyślenia i mogą one posłużyć do złożenia wniosku o finansowanie dalszych badań ze źródeł zewnętrznych. Uważam, iż dodatkowym atutem w staraniu się o pozyskanie środków jest posiadanie przez mgra inż. K. Rojcewicza patentu.

W przypadku strony edytorskiej pracy można zgłosić kilka uwag.

Wydzielanie pojedynczych podpunktów np. 1.7.1 jest zbędne.

Zapis dokładności pomiarów jest mało precyzyjny.

W pracy Autor część całkowitą liczby od jej części dziesiętnej oddziela raz kropką raz przecinkiem.

4. Wartość użyteczna pracy

Praca posiada bardzo duży potencjał użyteczny. Zgromadzona w pracy wiedza pozwoliła Autorowi zbudować prototyp sprawnie działającej suszarki fontannowej.

W oparciu o zgromadzoną przez Autora wiedzę w trakcie badań laboratoryjnych i zdobyte doświadczenie z eksploatacji suszarki prototypowej mogą powstać projekty kolejnych ulepszonych suszarek, które mogą znaleźć zastosowanie nie tylko do suszenia trocin ale również innych produktów roślinnych w przemyśle spożywczym i pokrewnych. Mam nadzieję, iż mgr inż. K. Rojcewicz będzie kontynuował swoje badania po zakończeniu przewodu doktorskiego.

5. Uwagi końcowe

Prezentowana rozprawa doktorska napisana jest rzeczowo i w sposób zrozumiały. Autor w pełni zrealizował sformułowany cel badawczy i użyteczny. Godny jest podkreślenia fakt budowy urządzenia prototypowego w skali 1:1. Podane uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i powinny być inspiracją dla Doktoranta w dalszej pracy badawczej i projektowej. Uwagi te nie pomniejszają wartości opinowanej pracy, którą oceniam wysoko.

6. Wniosek do Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Białostockiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest wartościową pracą naukową. Doktorant wykazał się umiejętnością formułowania problemów badawczych oraz doбором metod ich rozwiązania.

Wniosuję o przyjęcie pracy mgr. inż. Konrada Rojcewicza jako rozprawy doktorskiej spełniającej wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j. t. Dz. U. z 2023 r., poz. 212) i jej dopuszczenie do publicznej obrony. Praca ta stanowi znaczące osiągnięcie Autora i jest istotnym wkładem do poszukiwania efektywnych ekonomicznie i przyjaznych dla środowiska rozwiązań suszarni fontannowych.

Krzysztof Bieńczak