

Poznań, dn. 28.09.2017

Dr hab. inż. Tadeusz Pawłowski, prof. nadzw.
Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
ul. Starołęcka 31, 60-963 Poznań

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Jarczyńskiego n.t.: “Metoda oceny efektywności niskotemperaturowych urządzeń suszących” napisanej pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Leszka Powierży - jako promotora i dr. inż. Andrzeja Pankowskiego - jako promotora pomocniczego. Opiniowana praca koncentruje się na poszukiwaniu energooszczędnej realizacji procesów, związanych z suszeniem ziarna zbóż. W rozprawie doktorant zaprezentował metodę przydatną przy dokonywaniu wyboru najkorzystniejszej energetycznie konfiguracji urządzeń do suszenia ziarna zbóż.

Zasadniczy tekst rozprawy został zawarty na 116 stronach druku i jest podzielony na osiem rozdziałów. Streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz ważniejszych symboli i oznaczeń, spis literatury obejmujący 131 pozycji, spis rysunków i wykresów obejmujący 36 pozycji oraz spis tabel obejmujący 29 pozycji zawarto na dalszych 23 stronach druku.

W rozdziale 1 (Wprowadzenie) przedstawiono obszar tematyki rozprawy, związany z racjonalnymi sposobami gospodarowania energią. Następnie przedstawiono krótką prezentację treści poszczególnych rozdziałów.

W rozdziale 2 (Problem) na 39 stronach, w trzech podrozdziałach, zaprezentowano genezę tematu, stan zagadnienia oraz sformułowanie zadania. Podrozdział 2.1 (Geneza tematu) przedstawia powody podjęcia pracy, związane z doбором najkorzystniejszej z energetycznego punktu widzenia technologii suszenia ziarna. Podrozdział 2.2 (Stan zagadnienia) w trzech kolejnych podrozdziałach przedstawiono zagadnienia zrównoważonej gospodarki energetycznej, opis zasobów energetycznych i sposoby gospodarowania energią oraz zagadnienia suszenia - jako procesu energetycznego. Przeprowadzono też dyskusję na temat źródeł energii, jej pochodzenia, zużycia i ilości produktów spalania w skali globalnej oraz ilości zużywanej energii i źródeł jej pochodzenia w Polsce. Autor akcentując uciążliwość energetyki konwencjonalnej, przedstawia skład i ilość produkowanych spalin i wymienia szkodliwe związki emitowane do atmosfery. Stwierdza, że w rolnictwie są dobre warunki do wykorzystania odnawialnych źródeł energii i może ona być dobrym uzupełnieniem źródeł

konwencjonalnych. W końcowej części podrozdziału autor omawia procesy zachodzące podczas konserwacji ziarna zbóż metodą suszenia. Przedstawia strefy nasłonecznienia na terenie Polski i możliwości pozyskania energii słonecznej w postaci ciepła z kolektorów słonecznych. Szacuje, że energia odnawialna może zastąpić ok. 20-30% energii konwencjonalnej. W kolejnym punkcie (Ogniwa fotowoltaiczne) opisuje sposób powstawania energii elektrycznej z energii promieniowania słonecznego. Niestety jest to powierzchowna wiedza książkowa i brakuje analiz określających jej potencjał. W następnym punkcie (Energia wiatru) autor opisuje pozyskiwanie energii elektrycznej za pomocą siłowni wiatrowych. Podaje, że na obszarze ok. 30% kraju panują warunki sprzyjające produkcji tej energii i określa jednostkową produkcję w przeliczeniu na m² powierzchni powstałej przez obrót śmigła. Omawiając występujące rozwiązania konstrukcyjne turbin wiatrowych, podał moc turbin wiatrowych zainstalowanych w Polsce w 2009 roku, co mocno odbiega od mocy zainstalowanej obecnie. W punkcie (Energia biogazu) autor opisuje produkcję biogazu, możliwość zastosowania materiałów organicznych niezbędnych w procesie fermentacji oraz przedstawia wytyczne Komisji Europejskiej związane z jej produkcją. Poza składem chemicznym autor przedstawia wielkość produkcji biogazu we Francji w 2007 roku. Brakuje tutaj informacji o stanie rozwoju tej dziedziny w Polsce. W podrozdziale 2.2.3 (Suszenie jako proces energetyczny) w punkcie (Słoneczne instalacje suszarnicze) doktorant przedstawia, że czasokres największego zapotrzebowania na energię cieplną potrzebną do suszenia, przypada na miesiące letnie, a wielkość potrzebnej energii zależy od temperatury suszonego materiału i jego wilgotności. Następnie opisuje typy instalacji suszarniczych oraz zasadę ich działania. Z uwagi, że ilość ciepła z promieniowania słonecznego może być niewystarczająca do podgrzewania czynnika suszącego stosowane są układy hybrydowe kolektorów słonecznych i układów stosujących konwencjonalne źródła energii. Następnie w pracy przedstawiono mechanikę procesu suszenia, zilustrowaną odpowiednimi rysunkami. W punkcie (Budowa ziarna) przedstawiono budowę anatomiczną ziarna zbożowego. W kolejnym punkcie (Właściwości fizyczne ziarna) przyjęto, że są to kształt, wielkość, objętość, wilgotność oraz właściwości aerodynamiczne. Następnie opisano ich znaczenie w procesie przechowywania, czyszczenia, sortowania i suszenia. Określono, które właściwości masy zbożowej są istotne ze względu na przechowywanie i przetwórstwo. Wytypowano tutaj porowatość, samosortowanie, przewodność cieplną, właściwości absorpcyjne, wilgotność równowagową, wilgotność właściwą oraz wilgotność względną powietrza. W kolejnym punkcie (Rodzaje urządzeń do

suszenia i magazynowania ziarna) przedstawiono podział procesu suszenia w zależności od temperatury prowadzonego procesu. Wymieniono tutaj suszenie niskotemperaturowe, suszenie średniotemperaturowe oraz suszenie wysokotemperaturowe. Następnie opisano elementy składowe suszarki do ziarna, którymi są podgrzewacz, komora suszenia oraz wentylator. Opisano i zilustrowano sposoby suszenia w zależności od ruchu powietrza i ruchu materiału. Zależności związane ze zmianami wilgotności materiału suszonego i czynnika suszącego przedstawiono graficznie. W końcowej części tego punktu przedstawiono dziewięć podstawowych typów konstrukcji suszarek. W kolejnym punkcie (Rodzaje urządzeń do niskotemperaturowego suszenia) autor przedstawił technologię, której dotyczy niniejsza praca. Jest to suszenie niskotemperaturowe współprądowe. Zastrzegł jednocześnie, że zastosowanie tej metody jest ograniczone, ponieważ w miarę przepływu przez suszarkę temperatura czynnika suszącego obniża się, natomiast wilgotność czynnika suszącego rośnie. Następnie autor przedstawia urządzenia sypowe, w których można przeprowadzić niskotemperaturowe suszenie w nieruchomej warstwie. Wymienia tutaj silos, suszarkę podłogową, suszarkę sitową oraz magazyn zbożowy. Dalej przedstawia zakresy wilgotności ziarna, które warunkują sposób jego prawidłowego przechowywania. W kolejnym punkcie (Suszenie ziarna w nieruchomej warstwie w aspekcie energetycznym. Mechanizm procesu suszenia) autor opisuje zmiany zachodzące w ziarnie podczas procesu suszenia. Zwraca uwagę, że zbyt duża wilgotność ziarna przyspiesza zachodzące w nim procesy życiowe, gdzie wskutek rozkładu substancji zapasowych, zwłaszcza skrobi, wytwarzana jest energia cieplna. Powoduje to wzrost temperatury i wilgotności ziarna, zmniejsza się masa ziarna oraz następuje rozwój drobnoustrojów, bakterii i pleśni. Autor podaje, że czas suszenia ziarna jest zależny od warunków atmosferycznych, wilgotności początkowej, grubości suszonej warstwy i może trwać od kilku do kilkunastu dni. Z kolei automatyzacja procesu suszenia może go przyspieszyć i zmniejszyć w ten sposób ryzyko zepsucia ziarna. W procesie suszenia niskotemperaturowego, zmniejszenie wilgotności następuje w cienkich warstwach ziarna. Strefa ta powiększa się w miarę dosuszania warstwy ziarna. W dalszej części opisano mechanikę procesu suszenia i przytoczono odpowiednie wykresy ilustrujące warunki procesu. Kolejny punkt (Suszenie niskotemperaturowe) określa suszenie w temperaturze bliskiej temperatury otoczenia. Autor przytacza korzyści jakie niesie z sobą ten sposób suszenia i warunki jakie należy zachować, aby proces przebiegał prawidłowo. W kolejnym punkcie (Intensyfikacja procesu suszenia niskotemperaturowego) autor przedstawia warunki jakie należy zachować dobierając grubość

warstwy suszonego materiału w zależności od jego wilgotności. Następnie w punkcie (Ryzyko nawilżania ziarna) autor przedstawia warunki w jakich może dochodzić do nawilżania ziarna. W prezentowanej tabeli zawarto dopuszczalną wilgotność względną powietrza w zależności od jego temperatury i wilgotności przechowywanego ziarna. Podrozdział 2.3 (Sformułowanie zadania) zawiera opis programu przyjętych zadań.

W rozdziale 3 (Sposób rozwiązania) w dwóch podpunktach przedstawiono hipotezę roboczą i procedurę weryfikacji hipotezy.

W rozdziale 4 (Identyfikacja modelu konfiguracji urządzenia suszącego (KUS) jako obiektu oceny) w czterech podpunktach przedstawiono zagadnienia związane z modelem, modułami oraz konfiguracją funkcjonalną urządzenia suszącego. W podpunkcie 4.1 (Model urządzenia suszącego (US)) przedstawiono funkcjonalny, modułowy system techniczny, składający się z następujących modułów funkcjonalnych: modułu suszącego (MS), modułu energetycznego (ME), modułu załadowczo-rozładowczego (MZR), modułu konstytuwnego (MK). W podpunkcie 4.2 (Moduł suszący (MS)) określono, że pod tym pojęciem rozumiemy: silos suszący (S), suszarkę podłogową (SP), suszarkę sitową (SS). Przedstawiono również symboliczne zapisy oraz rysunki poglądowe omawianych urządzeń. W podrozdziale 4.3 (Moduł energetyczny (ME)) autor opisuje możliwe konfiguracje hybrydowego podgrzewacza powietrza oraz przedstawia jego notację systemową. W podrozdziale 4.4 (Konfiguracja funkcjonalna urządzenia suszącego (KUS)) autor zamieszcza notację systemową urządzenia suszącego.

W rozdziale 5 (Model modułu suszącego) w pięciu podrozdziałach autor przedstawił model ideowy procesu suszenia, model symboliczny procesu suszenia, modele zmiennych stanu procesu, parametryzację zmiennych procesowych i relacji między nimi, model formalny niskotemperaturowego suszenia ziarna w nieruchomej warstwie, algorytmizację modelu formalnego, weryfikację modelu oraz identyfikację zmiennych procesowych - w aspekcie ich przydatności ocenowej. Zagadnienia te zostały zilustrowane odpowiednimi rysunkami oraz został przedstawiony zapis formalny procesów. I tak, w podrozdziale 5.1 (Model ideowy procesu suszenia) autor przedstawia model werbalny procesu suszenia oraz prezentuje proces suszenia jako termiczne odwodnienie materiału ziarnistego. W podrozdziale 5.2 (Model symboliczny procesu suszenia) autor przypisuje mediom procesowym symbole literowe i przedstawia model parametryczny procesu suszenia. W podrozdziale 5.3 (Modele zmiennych

stanu procesu suszenia) autor przedstawia zmienne stanu oraz model materiału suszonego i model czynnika suszącego. W podrozdziale 5.4 (Parametryzacja zmiennych procesowych i relacji między nimi) utworzono modele stanowiące punkt wyjścia opisu relacji występujących w trakcie generowania efektów procesu niskotemperaturowego suszenia ziarna w nieruchomej warstwie. W podrozdziale 5.5 (Model formalny niskotemperaturowego suszenia ziarna w nieruchomej warstwie) autor stwierdza, że do formalnego opisu modelu można sformułować pięć równań opisujących: bilans wody w materiale, wody w powietrzu, wody w układzie materiał-powietrze, bilans ciepła w materiale oraz bilans ciepła w układzie materiał-powietrze. Szóste równanie uwzględnia współczynnik suszarniczy wyznaczany empirycznie. Układ sześciu równań przyjęto jako model niskotemperaturowego suszenia ziarna w nieruchomej warstwie, stanowiący podstawę do tworzenia symulacyjnego generatora efektów suszenia. W podrozdziale 5.6 (Algorytmizacja modelu formalnego) przedstawiono przekształcony model procesu suszenia w postaci czterech równań, w których zastosowano opisy masy suszonego materiału, ilość ciepła dostarczonego do układu w jednostce czasu oraz współczynnik szybkości suszenia. Bazując na tych równaniach opracowano cyfrowy generator efektów niskotemperaturowego suszenia ziarna w nieruchomej warstwie. W podrozdziale 5.7 (Weryfikacja modelu) autor przedstawia sposób weryfikacji modelu i stwierdza, że przedstawiony model może być przydatny do generowania danych do oceny efektywności energetycznej konfiguracji suszących w aspekcie wyboru najkorzystniejszego rozwiązania. W podrozdziale 5.8 (Identyfikacja zmiennych procesowych w aspekcie ich przydatności ocenowej) w dwóch podrozdziałach autor przedstawia zmienne ocenowe w module suszącym oraz zmienne ocenowe, generowane w module energetycznym.

W rozdziale 6 (Miary efektywności) w czterech podrozdziałach przedstawiono zagadnienia związane z oceną efektywności. W podrozdziale 6.1 (Pojęcie efektywności) bazując na danych literaturowych autor przyjął, że efektywność może być definiowana jako iloraz uzyskanych użytecznych efektów do bezpośrednio poniesionych nakładów. Z uwagi, że ocena efektywności wymaga znajomości odpowiednich mierników wykorzystano procedurę tworzenia oraz zasady wyznaczania wskaźników efektywności opisane w literaturze przedmiotu. W podrozdziale 6.2 (Wskaźnikowa metoda oceny efektywności) zidentyfikowano zmienne opisujące system i wygenerowano macierz efektywności o wymiarze 17x17. Z tego zbioru wskaźników uwzględnia się tylko te, które są przydatne ze względu na aspekt oceny. Powstała w ten sposób macierz użytecznych wskaźników efektywności o wymiarze 10x10. W podrozdziale 6.3 (Dobór

wskaźników do oceny konfiguracji suszących) autor wytypował użytkowo przydatne wskaźniki spośród trzynastu zmiennych. W podrozdziale 6.4 (Analiza przydatności ocenowej przyjętych wskaźników efektywności) autor przedstawił sekwencję działań jaką należy zachować przy ocenie systemu suszącego przedstawiając procedurę składającą się z ośmiu kroków. W dalszej części autor założył, że wybór najkorzystniejszej konfiguracji hybrydowego generatora ciepła zostanie przeprowadzony w aspekcie zapotrzebowania energetycznego. Następnie przedstawia ogólną postać macierzy miar efektywności oraz przeprowadza interpretację wskaźników szczegółowych.

W rozdziale 7 (Egzemplifikacja metody) w podpunkcie 7.1 (Założenia) przedstawiono cel egzemplifikacji jakim jest ocena stopnia przydatności użytkowej zastosowanej metody. Zaprezentowano 24 podstawowe parametry procesu wykorzystane w analizie doboru najkorzystniejszej konfiguracji energetycznej 2-źródłowego hybrydowego generatora ciepła. Przedstawiono również koszty jednostkowe rozpatrywanych paliw. W podrozdziale 7.2 (Identyfikacja konfiguracji suszącej) autor prezentuje zastosowany moduł suszący składający się z silosa cylindrycznego z centralnym kanałem suszącym oraz moduł energetyczny. Jako pierwszy element hybrydowego zasilacza energetycznego zastosowano kolektory słoneczne a jako drugi element zastosowano wariantowo prąd elektryczny, olej opałowy, słomę oraz gaz ziemny. W ten sposób wybrano cztery warianty zasilacza z 50% udziałem poszczególnych źródeł energii. W podrozdziale 7.3 (Generowanie efektów procesu suszenia) przy użyciu programu Mathcad 2017 stworzono algorytm matematyczny, uwzględniający sześć równań stanu oraz metodę Rungego-Kutty drugiego rzędu. Następnie dla ustalonych i przedstawionych wcześniej w tabeli 7.1 warunków początkowych przeprowadzono symulację i przedstawiono jej wynik określający ilość ciepła potrzebną do wysuszenia przyjętej ilości ziarna. W podrozdziale 7.4 (Charakterystyka obiektu oceny) przedstawiono techniczne i ekonomiczne parametry niezbędne do oceny systemu suszącego oraz przedstawiono warianty oceny. Następnie w tabeli zestawiono wartości miar efektywności dla wybranych wariantów hybrydowego generatora ciepła. W krótkim podrozdziale 7.5 (Analiza wyników) stwierdzono, że dla oceny przydatności systemu suszącego korzystne jest określenie wielowymiarowej przestrzeni cech. Określono cztery dziedziny wartości wskaźników oraz podano warunki oceny systemu. W postaci tabelarycznej podano wartości graniczne klas sprawności. Następnie dla badanych czterech typów podano w tabelach wartości miar efektywności. W końcowej części podrozdziału zestawiono koszty suszenia ziarna w zależności od zastosowanego podgrzewacza.

Rozdział 8 (Zakończenie) zawiera wyniki, wnioski i zalecenia. W wynikach autor przedstawia skład efektów przeprowadzonych rozważań i przedstawia je w sześciu punktach. Następnie przedstawia trzy wnioski. W zakończeniu autor formułuje dwa zalecenia, związane z dopuszczalnym czasem suszenia oraz kosztem jednostkowym procesu suszenia. Oczywiście powinien się zastrzec, że ten koszt uwzględnia aktualnie obowiązujące ceny poszczególnych składników.

Lektura opiniowanej rozprawy nasuwa poniższe uwagi krytyczne, dotyczące głównie jej strony redakcyjnej:

1. Rozdział (Stan zagadnienia), który pełni rolę oceny stanu zagadnienia w świetle literatury ma głównie wartość dydaktyczną, gdyż przyjmując założenie, że prace doktorskie adresowane są do specjalistów danej dziedziny nauki, to bez szkody dla opiniowanej rozprawy rozdział ten można skrócić do $\frac{1}{3}$ obecnej objętości. Rozdział ten ma też tę ułomność, że brak w nim reasumpcji, która posłużyłaby autorowi do ukierunkowania i wyznaczenia obszaru problematyki badawczej własnej pracy;
2. Praca ma charakter merytoryczny, a pierwszoplanowe znaczenie w opracowanej metodzie ma model, który podlegał weryfikacji. To ten model przejął funkcje hipotezy roboczej, która w tej sytuacji ma jedynie znaczenie porządkujące dla całości opracowania;
3. Autor rozprawy przeprowadził bardzo skrótową analizę wyników uzyskanych w toku badań, podając na końcu błędnie tabelę wartości granicznych klas sprawności - chodzi o tab. 7.5, a nie 8.3.1, której w pracy nie ma. Taka analiza spowodowała, że sformułowane wnioski są dość ogólnikowe, a możliwość ich praktycznego wykorzystania uwarunkowana jest koniecznością zapoznania się z całą pracą. Zbyt słaby jest pragmatyczny związek rezultatów analizy wyników z wnioskami;
4. W rozdziale (Stan zagadnienia) w licznych miejscach brak odsyłaczy literaturowych;
5. Cały tekst obciążają liczne braki znaków interpunkcyjnych lub błędne znaki, np. str. 89, którą stanowi jedno 26-wierszowe zdanie bez kończącej go kropki. To obniża wartość komunikacyjną tekstu rozprawy. Natomiast na podkreślenie zasługuje to, że autor rozprawy nie nadużywał znaków prozodycznych, emotywnych i sygnalizujących;
6. Składnia drugiego zdania (str. 104) budzi zastrzeżenia co do poprawności językowej;
7. Tekst zamieszczony na str. 76 nie ma związku z tekstem na str. 75;

8. Tekst pracy obciążają następujące usterki pisarskie:

- przeliterowania (np. str. 28, wiersz. 6),
- łączne pisanie (np. str. 28, wiersz 20),
- niekompletne zdania (np. str. 33, wiersz 15-16) i inne.

Powyższe uwagi, dotyczące przede wszystkim strony redakcyjnej opiniowanej pracy, obniżają wprawdzie jej wartość, ale nie przekreślają jako przedmiotu rozprawy doktorskiej. Temat rozprawy został dobrany poprawnie, a wybór problematyki badawczej jest ambitny i nie może budzić zastrzeżeń merytorycznych oraz formalnych zarówno w świetle oczekiwań nauki, jak również - i to szczególnie - praktyki. Poznanie procesu niskotemperaturowego suszenia ziarna i poprawny dobór efektywnych zestawów urządzeń do realizacji tego procesu zapewnić mogą wiarygodne badania symulacyjne, których rezultaty powinny otwierać możliwości doskonalenia konfiguracji urządzeń do realizacji tego procesu i powstawania rozwiązań innowacyjnych.

Kandydat osiągnął założony cel swej pracy przedstawił bowiem wskaźnikową metodę oceny efektywności, opartej na symulacyjnym modelu generowania efektywności suszenia, który ma wartość prognostyczną. Postępowanie doktoranta jest wystarczająco wnikliwe, prowadzone metodami odpowiadającymi współczesnemu poziomowi nauki i techniki z zakresu planowania oraz prowadzenia badań i opracowywania wyników. Jest to osiągnięcie na miarę rozprawy doktorskiej.

Doktorant, przez realizację swej pracy wykazał opanowanie wiedzy w naukach podstawowych oraz w zakresie budowy i eksploatacji maszyn w stopniu umożliwiającym prowadzenie badań naukowych w obszarze: budowa i eksploatacja maszyn oraz udowodnił opanowanie umiejętności przedstawiania i interpretacji uzyskanych wyników badań.

Biorąc powyższe pod uwagę wyrażam opinię, że praca mgr inż. Łukasza Jarczyńskiego n.t.: „Metoda oceny efektywności niskotemperaturowych urządzeń suszących” spełnia wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim. Spełnia więc warunki dopuszczenia jej do kolejnego etapu przewodu doktorskiego.

dr hab. inż. Tadeusz Pawłowski, prof. nadzw.