

dr hab. inż. Sławomir Obidziński
Politechnika Białostocka
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Inżynierii Rolno-Spożywczej i Kształtowania Środowiska

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Beaty Zakliki

na temat

„Efektywność produkcji brykietów z biomasy pochodzenia roślinnego”

Niniejsza recenzja została wykonana na podstawie umowy o dzieło TDz/531/2018, zawartej z Uniwersytetem Przyrodniczym w Lublinie, reprezentowanym przez Prorektora ds. organizacji i rozwoju uczelni - prof. dr hab. Eugeniusza Grela.

1. Charakterystyka podjętego problemu

W ostatnich latach coraz większą uwagę poświęca się w krajach Unii Europejskiej problematyce ochrony klimatu, co związane jest między innymi z ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych, ze zmniejszeniem ilości szkodliwych substancji takich jak tlenki siarki (SO_x), dwutlenek azotu (NO₂), dwutlenek węgla (CO₂), benzopiren, węglowodory oraz pyłów powstających w procesie spalania paliw kopalnych.

W związku z tym do produkcji energii sięga się obecnie coraz częściej po biomasę. Do wytwarzania paliw z biomasy w postaci peletu lub brykietu coraz częściej sięga się (poza odpadami drzewnymi typu: trociny, pyły drzewne, zrębki) również po inne surowce odpadowe np. odpady przemysłu zbożowo-młynarskiego, odpady powstające przy produkcji soków owocowych połączone z odpadami zbożowymi i odpadami drzewnymi, odpady z przetwórstwa roślin oleistych, inne surowce odpadowe z przemysłu rolno-spożywczego oraz biomasy uzyskanej z plantacji roślin energetycznych.

Jednak, jak nadmienia Autorka, przebieg procesu technologicznego brykietowania biomasy oraz jakość otrzymanego brykietu, a w szczególności z biomasy odpadowej, zależy od wielu różnych zmiennych czynników. W zależności od zastosowanego surowca trzeba indywidualnie te czynniki dobierać.

Przedstawiona praca doktorska mgr inż. Beaty Zakliki wpisuje się w naukowe działania zmierzające do optymalizacji jakości produkowanego brykietu oraz minimalizacji energochłonności jego wytwarzania.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Beaty Zakliki została zredagowana na 116 stronach i składa się z wykazu użytych w pracy oznaczeń, 7 rozdziałów, bibliografii oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

We wprowadzeniu Doktorantka uświadamia Czytelnika, o coraz bardziej rosnącym zapotrzebowaniu naszej cywilizacji na energię, co wiąże się z poszukiwaniem jej w innej postaci np. w postaci paliw z biomasy w formie brykietów, co pozwala na polepszenie jej cech użytkowych jako paliwa. W dalszej części sygnalizuje problem konieczności dalszych badań nad procesem brykietowania, w celu jego optymalizacji i dążenia do wysokiej jakości otrzymanego brykietu.

Rozdział drugi pracy stanowi przegląd literaturowy dotyczący:

- charakterystyki biomasy, źródeł jej pochodzenia, ze szczególnym uwzględnieniem biomasy przeznaczonej na cele energetyczne,
- problemów występujących przy ciśnieniowej aglomeracji biomasy roślinnej i urządzeń wykorzystywanych do rozdrabniania i brykietowania biomasy,
- energochłonności produkcji biomasy roślinnej oraz procesu wytwarzania z niej biopaliw stałych.

W rozdziale trzecim Autorka przedstawiła uzasadnienie podjęcia tematu, swoje problemy badawcze, na podstawie których sformułowała hipotezy badawcze. W dalszej części rozdziału Doktorantka przedstawia cel główny pracy, cele szczegółowe oraz zakres pracy.

W rozdziale czwartym zaprezentowane zostały przedmiot i warunki badań, w tym charakterystyka surowców biomasowych użytych do badań. W rozdziale tym Autorka przedstawiła również opis przebiegu kolejnych etapów procesu badawczego.

W rozdziale piątym Doktorantka zaprezentowała metodykę badań, w tym metodykę oznaczania właściwości fizycznych i paliwowych surowców i otrzymanych produktów,

a także:

- wydajności i energochłonności procesu rozdrabniania i brykietowania surowców oraz energochłonności produkcji brykietów,
- energochłonności skumulowanej produkcji brykietów oraz efektywności energetycznej ich produkcji.

W rozdziale tym przedstawiona została również metodologia opracowania statystycznego otrzymanych wyników badań.

W rozdziale szóstym Autorka zaprezentowała wyniki swoich badań i poddaje je analizie statystycznej. Doktorantka swoje wyniki przedstawia w postaci 25 wykresów i 18 tabel prezentujących ich analizę statystyczną.

W rozdziale siódmym Autorka prezentuje dyskusję uzyskanych wyników i wnioski sformułowane na podstawie przeprowadzonych badań i otrzymanych wyników.

W dalszej części pracy znajduje się bibliografia, która składa się ze 186 pozycji.

3. Ocena pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Beaty Zakliki napisana jest poprawnym i zrozumiałym językiem. Pomimo drobnych uchybień edytorskich, od strony formalnej nie budzi większych zastrzeżeń. Należy uznać, iż jest przejrzysta i przedstawia wartościowy wkład naukowy, uzupełniający wiedzę w obszarze inżynierii rolniczej.

We wprowadzeniu Autorka określa problem badawczy, którym jest, według niej, duża zmienność cech fizycznych i chemicznych różnych gatunków biomasy, co nie pozwala bez badań eksperymentalnych zoptymalizować przebiegu procesu jej brykietowania, pod kątem uzyskania jak najniższego zużycia energii i otrzymania wysokiej jakości produktu (brykietu).

W rozdziale drugim pracy Doktorantka dokonuje bogatego przeglądu literaturowego dotyczącego biomasy i źródeł jej pochodzenia oraz charakterystyki biomasy przeznaczonej na cele energetyczne. Charakteryzując biomasę pochodzenia rolniczego Autorka skupiła się przede wszystkim na słomie, poświęcając zdecydowanie mniej uwagi innym rodzajom biomasy rolniczej.

W kolejnym podrozdziale rozdziału 2 zatytułowanym „2.3. Problemy ciśnieniowej aglomeracji biomasy roślinnej” Autorka charakteryzuje proces aglomeracji ciśnieniowej i parametry, przy których biomasa roślinna może być poddawana procesowi aglomeracji. Moim zdaniem tytuł podrozdziału został dobrany nieco niefortunnie, bo przedstawiona w nim treść nie koresponduje z nim. Czytelnik może się spodziewać po takim tytule zdecydowanie

innych treści. Znacznie bardziej adekwatnym tytułem byłby tytuł: „*Charakterystyka procesu ciśnieniowej aglomeracji biomasy roślinnej*”. W podrozdziale 2.4 Autorka dokonuje szerokiego przeglądu urządzeń wykorzystywanych do rozdrabniania i brykietowania biomasy. W rozdziale tym znajdują się opisy budowy i zasady działania w/w urządzeń. Zdecydowanie łatwiej byłoby Czytelnikowi zrozumieć opisywaną budowę i zasadę działania w/w urządzeń, gdyby Autorka zamieściła schematy tych urządzeń, a tekst opisu uzupełniła o odnośniki do zamieszczonych schematów (rysunków). Podobnie wygląda opis mobilnych linii

do brykietowania biomasy. W tym miejscu dla Czytelnika przydałby się schemat lub widok takich linii, aby lektura pracy była bardziej przyjazna.

Podrozdział „2.5. *Energochłonność produkcji biomasy roślinnej*” to bardzo szczegółowa i szeroka charakterystyka spotykanych najczęściej wskaźników oceny efektywności energetycznej różnego rodzaju biomasy.

W podrozdziale „2.6. *Energochłonności procesu wytwarzania biopaliw stałych*” Doktorantka stwierdza, że w świetle dostępnej literatury proces kompaktowania biomasy roślinnej nie jest poznany w sposób zadowalający, szczególnie w przypadku możliwości jego optymalizacji pod kątem energetycznym, co m.in. skłania Autorkę do podjęcia tej problematyki w swoich badaniach.

Po przeprowadzeniu obszernej i wnikliwej analizy literaturowej, Autorka w rozdziale trzecim przedstawia genezę, cel i zakres pracy. Według niej genezą podjęcia tematu, po dogłębnym studium literaturowym, było stwierdzenie, iż różnorodność wykorzystywanej do celów energetycznych biomasy powoduje, że występują problemy z doбором parametrów pracy urządzeń zagęszczających, pozwalających na uzyskanie dobrej jakości produktu (brykietu). To pozwoliło Doktorantce na sformułowanie problemów badawczych i trzech hipotez badawczych.

Głównym celem pracy, jaki Autorka sobie stawia, jest ... „*analiza i ocena możliwości produkcji brykietów z różnych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego oraz jej wpływu na cechy jakościowe i efekty energetyczne wytwarzanych biopaliw*”.

Zadanie, jakie Autorka sobie wyznacza po praktycznym osiągnięciu celu głównego i celów szczegółowych to ... „*uzyskanie wiedzy umożliwiającej taki dobór surowców roślinnych i parametrów procesu produkcji paliw formowanych, które bezpośrednio wpływają na wysoką jakość uzyskanego produktu, przy dużej wydajności i niskiej energochłonności procesu produkcji*”.

W pracy należałoby ujednolicić słownictwo odnośnie zagęszczania i paliw zagęszczonych, gdyż w różnych miejscach pracy Doktorantka raz używa pojęcia „proces kompaktowania”(str. 48), innym razem „proces zagęszczania”, a jeszcze innym „proces ciśnieniowej aglomeracji”. Podobnie jest w przypadku paliw: raz używane jest pojęcie „paliwa formowane” (str. 51) w innych miejscach można znaleźć pojęcia „paliwa aglomerowane” czy też „zagęszczone”.

W rozdziale czwartym zatytułowanym „Przedmiot i warunki badań” Autorka scharakteryzowała materiał badawczy użyty do badań (15 rodzajów surowców biomasowych, podzielonych na trzy grupy: biomasa z upraw rolniczych, biomasa pozyskiwana z roślin energetycznych oraz biomasa pochodzenia drzewnego) i źródła jego pochodzenia (tabela 12). W dalszej części tego rozdziału Doktorantka przedstawia przebieg procesu badawczego, charakteryzuje stanowisko badawcze do brykietowania – hydrauliczną brykieciarkę tłokową typu JUNIOR firmy POR DETA Polska, podając jej dane techniczno eksploatacyjne (tab. 13). Wydaje się zasadnym przedstawienie w tym miejscu schematu lub widoku brykieciarki i jej układu roboczego, a nie tylko jej danych techniczno-eksploatacyjnych. Przebieg realizacji badań został dodatkowo przedstawiony w postaci schematu blokowego (rys. 1).

W rozdziale piątym Doktorantka szczegółowo prezentuje metodykę oznaczania poszczególnych właściwości surowców użytych do badań oraz otrzymanych produktów. Oznaczenia wszystkich właściwości Autorka wykonuje zgodnie z najnowszymi normami PN-EN oraz ISO. W rozdziale tym Doktorantka, stwierdza, że uzyskane wyniki badań właściwości fizykochemicznych surowców i brykietów oraz wydajności i energochłonności ich produkcji, a także wyznaczone efektywności energetyczne, zostaną poddane analizie statystycznej z wykorzystaniem jedno – i wieloczynnikowej analizy wariancji oraz testu HSD Tukey’na poziomie istotności $\alpha=0,05$.

Wydaje się, że rozdziały czwarty i piąty należało połączyć w jeden rozdział. Charakterystyka surowca jest jednym z elementów metodyki badań. W związku z tym rozdział czwarty mógłby być jednym z podrozdziałów „Metodyki badań”.

Zaprezentowane w pracy, w rozdziale szóstym, wyniki badań potwierdzają przydatność wybranych przez Doktorantkę materiałów roślinnych jako surowców do wytwarzania z nich brykietów opałowych, ze względu na ich wysokie wartości opałowe, wysokie podatności na zagęszczanie oraz możliwość uzyskania z nich brykietów o wysokiej gęstości i wysokiej trwałości mechanicznej. Jednakże, w aspekcie jak najlepszej jakości wytwarzanych brykietów najlepiej sprawdza się biomasa pochodzenia rolniczego.

Uzyskane w trakcie badań wartości wydajności, energochłonności procesu brykietowania i efektywności energetycznej potwierdziły hipotezę H3, że cechy fizyczne i chemiczne biomasy oraz ciśnienie robocze w trakcie procesu brykietowania wpływają na wydajność, energochłonność i efektywność energetyczną produkcji brykietów.

Przeprowadzone analizy uzyskanych wyników badań wykazały, że wraz ze wzrostem ciśnienia brykietowania zwiększyła się masa, gęstość objętościowa i trwałość otrzymanych brykietów, natomiast zmniejszyła się ich długość.

W mojej opinii sposób przedstawienia opracowania statystycznego wyników i ich zrozumienie, dla potencjalnego Czytelnika jest utrudnione. Pod tabelami przedstawiającymi wyniki analiz statystycznych brakuje legendy, a w tekście pracy nie ma dokładnego wyjaśnienia otrzymanych wyników analiz statystycznych.

Przedstawiona w rozdziale siódmym szeroka dyskusja wyników i wnioski potwierdzają postawione w pracy hipotezy. W rozdziale tym brakuje jednak jednoznacznego stwierdzenia Autorki, które rodzaje biomasy, po przeprowadzeniu badań, preferuje do energetycznego wykorzystania, ze względu na wysokie wskaźniki efektywności energetycznej przy zachowaniu dobrej jakości otrzymanego produktu.

Literatura wykorzystana w rozprawie, składająca się ze 186 pozycji zarówno polskojęzycznych jak i zagranicznych jest wyczerpująca i odpowiada zagadnieniom poruszonym w pracy. W skład pozycji literaturowych wchodzi jedna pozycja w postaci strony internetowej oraz 11 pozycji w postaci norm. Godnym podkreślenia jest fakt, że w bibliografii znajduje się 1 publikacja współautorska mgr inż. Beaty Zakliki.

Na wyróżnienie pracy zasługuje:

1. Dokonanie bardzo bogatego, wszechstronnego przeglądu literaturowego (opartego na 186 pozycjach literaturowych) dotyczącego podjętej tematyki.
2. Opracowanie szczegółowej metodyki oznaczania właściwości fizykochemicznych i paliwowych surowców i brykietów, zgodnie z najnowszymi normami PN-EN oraz ISO.
3. Opracowanie szczegółowej metodyki oznaczania oraz obliczenie energochłonności produkcji brykietów, energochłonności skumulowanej produkcji brykietów oraz efektywności energetycznej produkcji brykietów.
4. Ustalenie, na podstawie badań, wzajemnych relacji pomiędzy analizowanymi parametrami, które pozwoliły na stwierdzenie, że zwiększenie ciśnienia roboczego brykieciarki wpłynęło na nieznaczny wzrost wydajności, energochłonności procesu brykietowania oraz na wzrost trwałości otrzymanego bryketu, zaś wzrost wilgotności

surowców powoduje wzrost trwałości aglomeratu, wzrost wydajności procesu brykietowania przy spadku jego energochłonności.

4. Uwagi krytyczne oraz dyskusyjne

Analizując przedstawioną do recenzji pracę, zwróciłem uwagę na pewne uchybienia oraz nieścisłości, które przedstawiam poniżej, w kolejności, w jakiej występują w pracy:

1. Str. 5 - przedstawiony spis oznaczeń nie zawiera wszystkich oznaczeń i skrótów występujących w pracy (np. na str. 13 występuje niewyjaśniony skrót TUZ, niewyjaśniony skrót LCA na str. 43, czy też brak wyjaśnienia skrótu HSD i symbolu α ze str. 61),
2. Str. 5, str. 44, str. 56-1 - w wielu miejscach pracy rzucają się też w oczy różne rozmiary czcionki oraz różne odstępki pomiędzy wierszami np. w spisie oznaczeń (str. 5), czy przy wyjaśnieniach symboli we wzorach występujących w rozdziale drugim oraz piątym,
3. Str. 6 - Doktorantka używa kilku nieprecyzyjnych sformułowań np.„Wykorzystanie surowców roślinnych jako biomasy niesie ze sobą wiele korzyści” - każdy surowiec roślinny jest biomasą,
4. Str. 7 - Doktorantka używa sformułowania: ... „Przebieg technologiczny procesu brykietowania biomasy ...” Powinno być raczej : „Przebieg procesu technologicznego brykietowania biomasy....”,
5. Str. 8 - pierwsze zdanie rozdziału 2,”Rozwój cywilizacji i postępu technologicznego wiąże się z rosnącym zapotrzebowaniem na wydajne źródła energii.”... jest powtórzone, gdyż jest to również pierwsze zdanie rozdziału 1,
6. Str. 44, str. 56-60 – jednostki w przedstawionych na tych stronach zależnościach zlewają się ze wzorami i Czytelnik może w niektórych przypadkach mieć wrażenie, że są to części wzoru,
7. Str. 57 – dlaczego do badań wybrano takie, a nie inne rodzaje biomasy? Właściwości wybranej do badań biomasy mają istotny wpływ na uzyskane wyniki badań.
8. Str. 55 - na schemacie blokowym (rys. 1) występuje zdanie „Pomiar procesu rozdrabniania i brykietowania:...” powinno być raczej „Badania procesu rozdrabniania i brykietowania:...” ,
9. Str. 56-61 – numeracja wzorów podanych w rozdziale „Metodyka badań” powinna rozpocząć się od (4), gdyż wcześniej pojawiły się trzy wzory na str. 44, w rozdziale 2.5,

10. Str. 60 – w objaśnieniu symboli występujących we wzorze (10) pojawią się różne jednostki, podczas gdy jest to sumowanie i ostateczna jednostka powinna być ($\text{MJ} \cdot \text{t}^{-1}$),
11. Str. 62-67 – w podpisach rysunków 2 - 6 pojawia się niepotrzebnie słowo wykres,
12. Str. 63-90 – Doktorantka pod tabelami (tab. 14 – 30) przedstawiającymi zestawienia grup jednorodnych dla poszczególnych wyznaczanych wielkości w poszczególnych grupach biomasy, powinna wyjaśnić Czytelnikowi, co oznaczają gwiazdki pojawiające się w poszczególnych wierszach tabel,
13. Str. 63-90 – Doktorantka pod tabelami (tab. 14 – 30) przedstawiającymi zestawienia grup jednorodnych dla wyznaczanych wielkości w poszczególnych grupach biomasy, powinna wyjaśnić Czytelnikowi, co oznaczają cyfry w wierszu, gdzie podana jest średnia i dlaczego w niektórych tabelach przyjmują wartości 1-6 (tab. 17, 25), w niektórych 1-7 (tab. 26 - str. 82), w niektórych 1-8 (tab. 14, 15, 20, 23), w niektórych 1-9 (tab. 16, 24, 27, 29), w niektórych 1-10 (tab. 28, 30), niektórych 1-11 (tab. 18, 21, 22), czy też wartości 1-12 (tab. 26 - str. 84),
14. Str. 65 – rys. 4 jest mało czytelny. Autorka dla poprawy czytelności rysunku powinna przedstawić rozkłady na trzech różnych wykresach np. dla każdej z badanych grup biomasy. Poza tym niewłaściwy jest podpis rysunku, który powinien brzmieć „Rozkłady granulometryczne wielkości cząstek badanych surowców”,
15. Str. 65 – w podpisie rys. 4 pojawia się wyjaśnienie kolejnych badanych surowców (np. S1 – słoma pszenna....) podczas gdy w podpisach wcześniejszych i późniejszych rysunków takie wyjaśnienia się nie znajdują, należy zachować konsekwencję i takie wyjaśnienia umieścić w podpisach wszystkich rysunków,
16. Str. 82 i str. 84. – dwa razy pojawia się oznaczenie „Tabela 26” zarówno na stronie 82 jak i 84, i w związku z tym dalsza numeracja tabel jest niewłaściwa, gdyż numeracja tabel w tym rozdziale powinna zakończyć się na nr 31 (na str. 90),
17. Str. 62-89 - dlaczego na rysunkach przedstawiających wyniki badań i słupki błędów w legendzie raz pojawia się: wartość średnia, średnia $\pm$ odchylenie standardowe, średnia ± 1.96 odchylenia standardowego (np. na rys. 2- str. 62), a innym razem pojawia się w legendzie: mediana, 25%-75% , zakres nieodstających, odstające (np. rys. 26 - str. 89),
18. Str. 89 - w przypadku porównywania efektywności energetycznej produkcji brykietów (rys. 26 - str. 89), należałoby dobrać takie surowce, dla których realizowane byłyby takie same operacje do momentu wytworzenia brykietu. Znacznie wyższe wartości efektywności energetycznej dla trocin wynikają z faktu braku operacji rozdrabniania surowca przed brykietowaniem.

Po przeanalizowaniu zarówno osiągnięć Autorki przedstawionych w rozprawie jak i drobnych niedociągnięć w niej zauważonych, rozprawę oceniam jednoznacznie pozytywnie.

4. Podsumowanie

Mając na uwadze złożony charakter procesu brykietowania jak i dużą ilość różnorodnych czynników wpływających na jego przebieg i jakość otrzymanego produktu (brykietu) uznaję, że praca doktorska mgr inż. Beaty Zakliki wnosi oryginalny wkład naukowy, szczególnie istotny dla praktyki przemysłowej, w obszarze ciśnieniowej aglomeracji materiałów roślinnych (w tym odpadowych). Uzyskane rezultaty mają wartości zarówno poznawcze jak i użytkowe, przydatne przy wyborze odpowiedniego rodzaju biomasy i odpowiednich parametrów materiałowych i procesowych w celu uzyskania wysokiej jakości produktu przy zadowalającej wydajności i energochłonności procesu.

Na podstawie przedłożonej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że mgr inż. Beata Zaklika wykazała się dużą wiedzą zarówno naukową jak i techniczną. Opracowanie tak szczegółowej metodyki badań, wykonanie szerokiej gamy różnorodnych badań i oznaczeń oraz ich wnikliwa analiza, świadczą o dużej wiedzy z obszaru inżynierii rolniczej.

Należy też uznać, że mgr inż. Beata Zaklika wykazała się umiejętnościami samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Beaty Zakliki pt. „Efektywność produkcji brykietów z biomasy pochodzenia roślinnego”, spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określonym w „Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami i wnoszę o dopuszczenie Autorki do jej publicznej obrony.

