

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Bajcara pt. „Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych oraz procesu toryfikacji na właściwości energetyczne wierzby i słomy”

Biomasa jest obecnie dominującym źródłem energii odnawialnej w Polsce, przy czym 85% energii odnawialnej jest wytwarzanej przez jej spalanie lub współspalanie. Stosowanie biomasy do celów energetycznych umożliwia spełnienie wymagających norm ochrony środowiska, szczególnie w zakresie emisji CO₂, SO_x, NO_x, pyłów, dioksyn, chloru i metali ciężkich.

Biomasa roślinna, pomimo że jest problematyczna w bezpośrednim wykorzystaniu m. in. ze względu na niejednorodność materiału, dużą zawartość wody i małą wartość energetyczną w odniesieniu do jej objętości, to jednak jest powszechnie dostępna, chociażby jako drewno i jego odpady, biomasa z upraw energetycznych, produkty i odpady rolnicze, odpady komunalne czy osady ściekowe. Znaczna część segregowanych odpadów może być również wykorzystana jako źródło energii. Biopaliwa stałe mogą być zużywane w procesach bezpośredniego spalania, gazyfikacji, współspalania oraz pirolizy w postaci np. drewna i odpadów drzewnych, słomy zbożowej, z roślin oleistych lub strączkowych, ziarna makulatury itp.

Biomasa pochodzenia roślinnego, jako ligninocelulozowa jest najczęściej stosowana w OZE, ponieważ jej budowa chemiczna i kaloryczność umożliwiają przeprowadzenie wielu procesów na drodze konwersji, prowadzących do wytworzenia paliw w formie gazowej stałej i ciekłej. Należy podkreślić, że biomasa roślinna jest głównie pochodzenia rolniczego, leśnego i z upraw energetycznych, ale i z przemysłu rolno-spożywczego, papierniczego i innych. Z biomasy pochodzenia rolniczego do celów energetycznych wykorzystuje się głównie słomę zbóż i innych gatunków roślin, której skład chemiczny podlega zmianom, zależnym od różnych czynników m. in. od przebiegu warunków atmosferycznych, zabiegów agrotechnicznych, żyzności gleby oraz sposobów jej składowania. Głównym składnikiem energetycznym słomy jest celuloza, a zawartość poszczególnych pierwiastków to przeciętnie 50% węgla, 5% wodoru, 35-40% tlenu, a także związki azotu, potasu, fosforu, siarki, wapnia, magnezu i wielu mikroelementów, w tym duża zawartość chloru, co może stwarzać pewne problemy w jej energetycznym wykorzystaniu. Powiększający się areał upraw roślin energetycznych daje także podstawę do rozważań nad ich przetwórstwem i wielorakim energetycznym wykorzystaniem.

Rośliny energetyczne powinny charakteryzować się wieloletnim wzrostem i rozwojem, dużym udziałem łądy w częściach nadziemnych, generatywnym sposobem rozmnażania dużym rocznym przyrostem, wysoką wartością opałową i odpornością na choroby i szkodniki. Rośliny te powinny mieć niewielkie wymagania glebowe, gdyż plantacje roślin energetycznych należy zakładać na glebach gorszej jakości; odłogowanych lub ugorowanych oraz wyłączonych z produkcji trwałych użytków zielonych.

Rozwój energetyki odnawialnej ma istotne znaczenie do realizacji celów, w ramach zobowiązań ekologicznych tzw. 3x20%:

- zmniejszenie do 2020 roku emisji gazów o 20%,
- zmniejszenie o 20% zużycia energii w porównaniu z prognozami dla UE na 2020 rok
- zwiększenie udziału OZE do 20% całkowitego zużycia energii w UE.

Poprawa efektywności energetycznej jest priorytetowo traktowana przez UE i postęp w tej dziedzinie będzie kluczowy do realizacji wszystkich celów.

W tym kontekście mgr inż. Marcin Bajcar wybrał trafnie problem badawczy swojej rozprawy doktorskiej, wpisujący się w ocenę wpływu niektórych czynników agrotechnicznych oraz procesu toryfikacji wraz z jego optymalizacją temperaturową i czasową na właściwości energetyczne wierzby i słomy

Formalna ocena pracy

Rozprawa doktorska obejmuje 146 stron. Znaczną część rozprawy zajmuje wstęp, cel pracy, hipoteza, przegląd literatury (22 strony), materiał i metody (15 stron), wyniki (76 stron), dyskusja (7 stron), wnioski (1 strona). Spis literatury obejmuje (12 stron), spis 42-u tabel (3 strony), spis 69-ciu rysunków (6 stron), streszczenie (1 strona) i abstrakt (1 strona). Spis literatury liczy 166 pozycji bibliograficznych, w tym 64 pozycje w języku angielskim. Świadczy to o szerokich zainteresowaniach naukowych Doktoranta, znajomości literatury polskiej i światowej oraz o umiejętności porównań uzyskanych wyników badań własnych z osiągnięciami innych Autorów. Zebranie i zestawienie, opracowanie i wykorzystanie w pracy takiej, ilości literatury (szczególnie angielskojęzycznej), wymagało niewątpliwie dużego wysiłku. Doktorant dobrze wykorzystał w pracy zestawioną w spisie literaturę np. we wstępie 7 cytowań, w przeglądzie literatury było 128 cytowań, a w dyskusji było ich około 60.

Doktorant zwraca uwagę, że Polska ma duże możliwości produkcji biomasy na cele energetyczne, zwłaszcza, że prognozy przewidują w 2030 roku potrzeby zagospodarowywania na cele energetyczne około 5 mln ha gruntów, co przyczyni się do realizacji dyrektywy UE zobowiązującej nasz kraj do osiągnięcia 15% udziału energetyki odnawialnej w strukturze zużytej energii w 2020 roku, a 20% w 2030 roku. Doktorant zaznacza jednak, że wykorzystanie gruntów rolnych powinno być głównie ukierunkowane na produkcję żywności.

To rozwój technologii, która zwiększy wydajność i sprawność instalacji do przetwarzania biomasy na cele energetyczne będzie miał zasadnicze znaczenie w osiągnięciu zaplanowanych celów. W poszukiwaniu metod poprawiających stan biomasy Doktorant wskazuje na proces toryfikacji, który może wpłynąć korzystnie na wykorzystanie biomasy poprzez poprawę jej właściwości energetycznych i ułatwienie magazynowania. Taki sposób przetwarzania biomasy przyczyni się do osiągnięcia jej właściwości zbliżonych do węgla i poprawy parametrów energetycznych względem biomasy surowej. Pozyskanie w ten sposób toryfikaty

charakteryzują się dobrą trwałością i odpornością na destrukcję biologiczną podczas przechowywania.

Doktorant podkreśla, że proces toryfikacji, w porównaniu do innych metod technicznych przetwarzania biomasy, nie jest zbyt skomplikowany i możliwy do wdrożenia przez wielu użytkowników komercyjnych. Zwraca również uwagę, że biomasa tak przetworzona może stanowić substytut węgla, co jest niezwykle istotne z tytułu ograniczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Wprowadzenie takiego paliwa może mieć niezwykle istotne korzyści w ochronie środowiska m. in. w ograniczeniu emisji szkodliwych gazów i zanieczyszczeń organicznych oraz zmniejszenie degradacji środowiska wynikającej z geotechnicznych przekształceń pokrywy glebowej, wskutek zaniechania wydobycia paliw kopalnych.

Doktorant analizuje potencjał i na tym tle energetycznie wykorzystanie niektórych źródeł biomasy w Polsce, wskazując przy tym na bardzo niskie wskaźniki wykorzystania biomasy rolniczej sięgające 0,8% i biomasy stałej – 24% w stosunku do całego potencjału.

Mgr inż. Marcin Bajcar szczegółowo zcharakteryzował główne składniki biomasy ligninocelulozowej, tj. celulozę hemicelulozę i ligninę i ich udział w poszczególnych rodzajach biomasy roślinnej, wskazując na celulozę jako najbardziej energetyczną, lecz ze względu na otoczenie jej strukturami hemicelulozy i ligniny, występują trudności w uwalnianiu energii i spowolniony jest rozpad tych struktur.

Doktorant analizuje szczegółowo argumenty za wykorzystaniem biomasy do celów energetycznych, zwracając również uwagę na wady w wykorzystaniu biomasy w energetyce oraz problemy organizacyjne, sprawność i wydajność technologii w trakcie energetycznego przetwarzania biomasy. Charakteryzuje również szczegółowo metody konwersji biomasy na energię, która może się odbywać przez bezpośrednie spalanie, współspalanie z węglem, zgazowanie i pirolizę biomasy oraz produkcję biopaliw ciekłych.

Doktorant zwraca uwagę na towarzyszące różnym metodom konwersji biomasy niekorzystne procesy np. podczas spalania biomasy może występować: emisja do atmosfery stałych i gazowych zanieczyszczeń, w tym WWA, CO, tlenków NO_x, amin, dioksyn, furanów, korozja powierzchni ogrzewalnych i instalacji ze względu na zawartość siarki, chloru i związków alkalicznych w biomacie, czy też tworzenie na powierzchniach ogrzewalnych osadu z lotnego popiołu oraz wiązanie w popiele większości metali ciężkich i gazowa emisja rtęci. Doktorant podnosi ze względu na ochronę środowiska rangę przemian z grupy konwersji biochemicznych, w wyniku których powstają: biogaz, bioalkohole oraz biodiesel.

Doktorant przezytyjnie opisuje proces toryfikacji, który jest termicznym przetworzeniem biomasy, głównie pochodzenia roślinnego (ligninocelulozowego) do postaci paliwa stałego, zwanego tozyfikatem lub biowęgłem o właściwościach zbliżonych do węgla kamiennego. Proces ten zwiększa kaloryczność paliwa, nadaje biomacie właściwości hydrofobowe, lecz następuje wówczas ubytek biomasy i energii chemicznej surowca.

Problemem badawczym Doktoranta było określenie własności energetycznych wytworzonych toryfikatów ze słomy pszenicy ozimej i rzepaku ozimego pochodzących z roślin uprawianych na glebach klasy bonitacyjnej II i IIIa oraz wierzby energetycznej uprawianej w cyklach dwuletnich i trzyletnich na glebie klasy IVb. Własności energetyczne toryfikatów badano również w kontekście zastosowanych parametrów procesu toryfikacji (temperatura: od 220 do 300°C i czas: 60, 75 i 90 minut). Doktorant porównał własności surowej biomasy tych

roślin z otrzymanymi toryfikatami, określając zakres i czynniki zmienności podstawowych parametrów. Ustalił również skład chemiczny surowej biomasy roślin i toryfikatów w celu określenia ich właściwości i sposobu wykorzystania.

Merytoryczna ocena pracy

Doktorant przeprowadził badania nad wpływem wybranych czynników agrotechnicznych oraz procesu toryfikacji wierzby i słomy w ramach prac terenowych i laboratoryjnych. Próbkę materiału do analiz laboratoryjnych pozyskał z dwuletnich badań polowych, przeprowadzonych w latach 2013 i 2014 w gospodarstwie zlokalizowanym na terenie Gminy Orły (powiat przemyski). Były to pola z uprawą pszenicy ozimej i rzepaku ozimego, położone na glebach klasy II i IIIa, należące odpowiednio: do kompleksu pszennego bardzo dobrego i pszennego dobrego, typ czarnoziemny zdegradowane, gatunek pył ilasty. Pod pszenicę ozimą i rzepak ozimy zastosowano nawozy mineralne NPK w dawkach odpowiednio: 90:30:60 i 80:50:60 kg/ha. Przedplonem w pierwszym roku badań dla pszenicy był rzepak natomiast dla rzepaku pszenica, a w drugim roku było odwrotnie.

Próbki wierzby energetycznej pobrano z wieloletniej plantacji, o zróżnicowanych cyklach wzrostu tj. dwuletnim i trzyletnim, prowadzonej na glebie klasy IVb, kompleksu żytniego słabego, typ gleba brunatna, gatunek piasek gliniasty lekki. Nawożenie mineralne NPK zastosowane pod wierzbę to: 80:30:80 kg/ha. Plon słomy pszennej mieścił się w zakresie 2,5-2,7 t/ha, słomy rzepakowej 1,3-1,5 t/ha oraz wierzby 12-14 t/ha s. m.. Przed rozpoczęciem badań wykonano podstawowe analizy gleb według przyjętych procedur zawartych w polskich normach. Badania właściwości gleb przeprowadzono zgodnie z obowiązującymi metodami, stosowanymi w analizach chemiczno-rolniczych. Analizowano również przebieg warunków atmosferycznych w sezonie wegetatywnym uprawianych roślin w latach badań. Badania nad wpływem wybranych parametrów na właściwości fizykochemiczne toryfikatów przeprowadzono w specjalistycznych instalacjach laboratoryjnych.

Materiał badawczy roślinny (z powierzchni 0,5 ha uprawy każdej rośliny) pobrano i przygotowano do badań prawidłowo. Proces toryfikacji biomasy prowadzono w temperaturach: 220°C, 240°C, 260°C, 280°C i 300°C w czasie: 60, 75 i 90 minut. Przeanalizowano łącznie 2208 prób biomasy surowej i toryfikatów.

Doktorant przeprowadził bardzo szczegółowe badania biomasy surowej i otrzymanych z niej toryfikatów. W biomasie surowej i otrzymanych toryfikatach oznaczono zawartości: wilgoci, N, C, H; popiołu; substancji lotnych; wartość opałową według procedur analitycznych określonych w polskich normach. Zawartość Ca, K, Mg, P, Fe, Mn, S analizowano metodą ICP-OES, a skład granulometryczny biomasy metodą sitową.

Analizę statystyczną wyników badań, dotyczących prównania biomasy surowej i toryfikatów przeprowadzono z zastosowaniem programów STATISTICA 10 oraz EXCEL 2013. Do statystycznego opracowania wyników badań użyto testów: Shapiro-Wilka, ANOVA, Tukeya oraz obliczono współczynniki korelacji Pearsona. Wyniki badań zostały opracowane bardzo starannie pod względem statystycznym.

Doktorant w swoich badaniach przeanalizował pod względem różnych cech 2208 prób biomasy surowej i toryfikatów, co wymagało umiejętności, ogromnego wysiłku i zaangażowania.

Przeprowadzone badania potwierdzają skuteczność poprawy właściwości fizycznych biomasy w wyniku zastosowania procesu toryfikacji, co umożliwia jej wykorzystanie na cele energetyczne.

Wyniki badań własnych oraz dane z literatury wskazują, że powstałe toryfikaty biomasy słomy pszennej, słomy rzepakowej i wierzby energetycznej stanowią ważną alternatywę dla biomasy nieprzetworzonej w kontekście wykorzystania jako proekologicznego materiału dla energetyki. Proces toryfikacji bardzo korzystnie wpłynął na obniżenie zawartości wilgoci, zmieniającej się wraz ze wzrostem temperatury i czasu toryfikacji, przy czym minimum osiągnęła w toryfikatach wytworzonych z biomasy badanych roślin w temperaturze 300⁰C i w czasie 90 minut. Wykazano także, że zawartość azotu w toryfikatach wytworzonych ze słomy pszennej i rzepakowej osiągnęła maximum w temperaturze 300⁰C w czasie 60 minut, a w toryfikatach z wierzby uprawianej w cyklu dwuletnim w tej samej temperaturze, ale w czasie 90 minut. Wraz ze wzrostem parametrów procesu toryfikacji uwęglenie materiału było wyższe, przy maximum dla toryfikatów powstałych ze słomy pszennej i biomasy wierzbowej w temperaturze 280⁰C w czasie 60 minut, a ze słomy rzepakowej w tym samym czasie, lecz przy wyższej temperaturze - 300⁰C. Proces toryfikacji obniżył zawartość wodoru w toryfikatach otrzymanych ze wszystkich badanych roślin.

Doktorant wykazał zwiększenie wartości opałowej toryfikatów wraz ze wzrostem temperatury i czasu toryfikacji, przy czym maximum dla toryfikatów uzyskanych z badanych roślin osiągnięto w temperaturze 280⁰C w czasie 60 minut. Wraz ze wzrostem temperatury i czasu toryfikacji zwiększyła się zawartość popiołu w toryfikatach z badanych roślin z osiągniętym maximum w temperaturze 300⁰C i w czasie 90 minut.

Doktorant podkreśla, że intensywne odgazowywanie materiału i odparowanie wody spowodowało duże ubytki masy toryfikatów. Maksymalne ubytki masy, przekraczające 70% stwierdzono w toryfikatach wierzby z dwuletniego cyklu uprawy w temperaturze 300⁰C i w czasie 90 minut. Wzrost temperatury i czasu toryfikacji wpływa na zwiększenie ilości substancji lotnych w toryfikatach badanych roślin.

Doktorant przeanalizował materiał badawczy z uwzględnieniem klas bonitacyjnych gleb, na których przeprowadził badania terenowe z produkcją biomasy roślinnej. Stwierdził korzystniejsze parametry energetyczne toryfikatów słomy pszennej i rzepakowej, tj. zawartość węgla, azotu, substancji lotnych wartości opałowej, które uzyskano z biomasy z uprawy na glebie II klasy bonitacyjnej w porównaniu z materiałem roślinnym z klasy IIIa. Wskaźniki energetyczne były lepsze dla toryfikatów wierzby, pochodzących z trzyletniego cyklu uprawy.

Doktorant wykazał istotny wpływ parametrów procesu toryfikacji na jakość toryfikatów. Wzrost temperatury od 220 do 300⁰C spowodował zwiększenie zawartości N, C, wartości opałowej, popiołu oraz substancji lotnych w toryfikatach. Wydłużanie czasu toryfikacji od 60 do 90 minut wpłynęło podobnie.

Niezwykle cenne było wyznaczenie przez Doktoranta optymalnych parametrów procesu toryfikacji, potrzebnych do produkcji toryfikatów w zależności od ich przeznaczenia, w tym wyznaczenie optymalnych parametrów, przy których uzyskano najwyższą wartość opałową. Bardzo ważne było również wykazanie przez Niego, że proces toryfikacji zwiększa

wartość użytkową toryfikatów pod względem zawartości makroelementów i mikroelementów. Stwierdzono zwiększenie średnio 2-3-krotne w toryfikatach, szczególnie zawartości Ca, K, P i Mg w stosunku do biomasy surowej. Zwiększenie zawartości mikroelementów w biomase roślin wystąpiło również w czasie procesu toryfikacji. Proces toryfikacji znacznie poprawia zdolność przemiałową w porównaniu z biomasą nieprzetworzoną.

Wyniki badań uzyskane przez Doktoranta wskazują na wysoce istotny wpływ zawartości pierwiastków biogenych (N, C, H) na wartość opałową toryfikatów badanych roślin.

Doktorant swoje wyniki badań w rozdziale dyskusja wyników porównał z literaturą krajową i światową w sposób umiemytny i nie budzący zastrzeżeń pod względem redakcyjnym. Rozprawę doktorską podsumował całościowo w formie 10 wniosków.

Jako recenzentowi rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Bajcara nasunęły mi się pewne sugestie, pytania czy uwagi, które nie obniżają wartości naukowych recenzowanej pracy.

- W moim przeświadczeniu gleby przed rozpoczęciem badań powinny być jeszcze bardziej scharakteryzowane; np. badane były makroelementy i mikroelementy w surowej masie roślin i w otrzymanych toryfikatach, w związku z tym dobrze gdyby scharakteryzowano gleby również pod względem zawartości mikroelementów. W publikacji wyników badań z pracy należy to uzupełnić.
- Z jakiego źródła pochodzi tab. 3 (str. 12), Niedziółka i Zuchniarz 2006 czy Dreszer i in. 2003?.
- Literówki: np. str. 15, w. 5 od góry; jest biomasa powinno być biomasy; str. 16 w. 7 od góry jest grzybieniu, powinno być grzybów; str. 65 w. 1 od rys.; jest wpływu, powinno być wpływ; str. 78 w. 14 od góry jest kasy, powinno być klasy.
- Str. 29, w. 3 od góry czy to była również miejscowość Orły?
- Str. 44, do publikacji N% przeliczyć na N w g•kg⁻¹s.m. i wtedy będzie to zawartość, przy % precyzyjne określenie to udział. Ta uwaga dotyczy też innych parametrów wyrażonych w % np. H, C, popiołu.
- Str. 55 w. 2 od dołu; jest dla największych, a czy nie powinno być dla najmniejszych?.
- Str. 119 w. 4 od dołu; przed wierzby dopisać popiołu i w. 6 przed Słoma dopisać Popiół ze słomy, gdyż wartości te dotyczą popiołu.
- Str. 121 w. 12 od dołu; procesach zamienić na technologii, lub wyrzucić słowo procesach.
- Str. 135 poz. 157 jest 5/2005, powinno być 9/2005.

Wniosek końcowy

Przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską Pana mgr inż. Marcina Bajcara oceniam bardzo pozytywnie. Rozprawa ma charakter nowatorski i stanowi oryginalne dzieło, spełniające wszystkie wymogi pracy naukowej. Pan mgr inż. Marcin Bajcar włożył bardzo dużo pracy przy prowadzeniu badań terenowych i laboratoryjnych oraz ich naukowym opracowaniu. Wyniki badań są bardzo dobrze udokumentowane; tabele i rysunki oraz w tekście pracy tabele z analizą statystyczną.

Doktorant zastosował prawidłowe, znormalizowane metody badań laboratoryjnych i opracował swoje wyniki metodami statystycznymi, dającymi możliwości interesujących porównań. Właściwy dobór metod statystycznych wyraźnie ułatwił prawidłową interpretację ogromnej ilości wyników badań i wnioskowanie.

Stwierdzam, że praca doktorska przedłożona przez Pana mgr inż. Marcina Bajcara spełnia wymogi formalne, stawiane rozprawom doktorskim, określone w artykule 16 i 17 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595 zm. w Dz. U. z 2005 r. Nr 164, poz. 1365) oraz Ustawy z dnia 18 marca 2011 r. (Dz. U. Nr 84, poz. 455).

Stawiam wniosek do Rady Wydziału Biologiczno-Rolniczego Uniwersytetu Rzeszowskiego o dopuszczenie Pana mgr inż. Marcina Bajcara do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Wnoszę również o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Rzeszów 13.09.2015 r.

