

KARBONIZAT ŚLĄZOWCA PENSYLWAŃSKIEGO JAKO PALIWO DO KOTŁÓW WĘGLOWYCH C.O.

Autorzy: Anna Poskart, Stanisław Szwaja, Dorota Musiał

("Rynek Energii" - grudzień 2016)

Słowa kluczowe: toryfikacja, ślázowiec pensylwański, uwęglanie biomasy, analiza chemiczna

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania ślázowca pensylwańskiego - uprawy energetycznej, która w wyniku wysokiego plonowania może być źródłem biomasy na cele opałowe. W celu wyeliminowania wad biomasy, jako paliwa stałego do kotłóW węglowych, przeprowadzono proces uwęglania (toryfikacji) ślázowca, co spowodowało uzyskanie materiału palnego o składzie chemicznym, w tym składników palnych, zbliżonym do węgla kamiennego. Uwęglona biomasa może zastąpić węgiel w kotłach węglowych bez konieczności ich modyfikacji. Przeprowadzone badania laboratoryjne potwierdziły, że uwęglanie w przedziale temperatury 300-350°C (toryfikacja) ślázowca pensylwańskiego ma pozytywny wpływ na poprawę jego właściwości jako potencjalnego paliwa, które może zastąpić węgiel np. w domowych kotłach węglowych C.O. Toryfikacja w istotny sposób przyczyniła się do zwiększenia ciepła spalania i wartości opałowej toryfikowanych próbek poprzez znaczne zmniejszenie zawartości wilgoci w odniesieniu do próbki surowej. Ponadto, w wyniku badań okazało się, że czas wyprażania można skrócić nawet do 20-30 minut w temperaturze 300°C bez znaczącego uszczerbku na walorach opałowych powstałego paliwa.

1. WSTĘP

Ślázowiec pensylwański pochodzi z południowych rejonów Ameryki Północnej, gdzie występuje na wilgotnych stanowiskach. Roślina ta nie ma specjalnych wymagań w stosunku do gleby i klimatu. Jego uprawa jest możliwa praktycznie na wszystkich typach gleb pod warunkiem odpowiedniego ich uwilgotnienia [3]. Ślázowiec pensylwański jest odporny na trudne warunki klimatyczne, tj. nie wymarza w czasie ostrych zim, ani nie wysycha w czasie suchych i upalnych lat. Dzięki głębokiemu systemowi korzeniowemu jest również odporny na okresowe susze, co sprawia, że doskonale nadaje się do uprawy we wszystkich rejonach Polski. Jednakże, należy podkreślić, że na glebach ubogich wytwarza zdecydowanie mniejszą masę nadziemną niż na żyzniejszych. Również przy niedostatecznej ilości opadów jego plony są znacznie niższe [2].

Uprawę, nawożenie, pielęgnację i zbiór biomasy prowadzi się tradycyjnymi metodami przy zastosowaniu standardowych maszyn rolniczych.

W zależności od sprzyjających warunków ślázowiec kończy okres wegetacji w III dekadzie października lub I dekadzie listopada. Roślina powinna być zbierana zimą, kiedy wilgotność wynosi poniżej 20%, gdyż wówczas istnieje możliwość wykorzystania biomasy do spalania bez konieczności jej dosuszania [4]. Zbiór biomasy odbywa się co roku od połowy listopada do grudnia z wykorzystaniem typowych maszyn rolniczych, najczęściej za pomocą kombajnu używanego do zbioru kukurydzy. Spośród wszystkich roślin energetycznych ślázowiec naj-

bardziej nadaje się do produkcji peletu z uwagi na stosunkowo niską zawartość azotu, chloru, popiołu i metali ciężkich [5].

Przydatność ślazu pensylwańskiego, jako rośliny wieloletniej, do celów energetycznych wynika przede wszystkim ze względu na jego stosunkowo duże plony (z jednego hektara rocznie można uzyskać 15-20 ton suchej masy surowca w postaci zrębków o wartości opałowej 18 MJ/kg) [5]. Pierwszy plon handlowy surowca osiąga się już w drugim roku, co gwarantuje szybki zwrot kosztów założenia plantacji [2].

Duża ilość uzyskiwanej biomasy o dobrej jakości, przy plonie częstokroć przekraczającym 18 t/ha (na glebach o klasie IVb lub lepszej) i zawartość celulozy do 45%, powoduje coraz większe zainteresowanie ślazowcem jako rośliną energetyczną [6]. Z roślin ślazu uzyskuje się biomasę o właściwościach pozwalających na produkcję zrębków, peletów czy brykietów [7].

2. OPIS BADAŃ

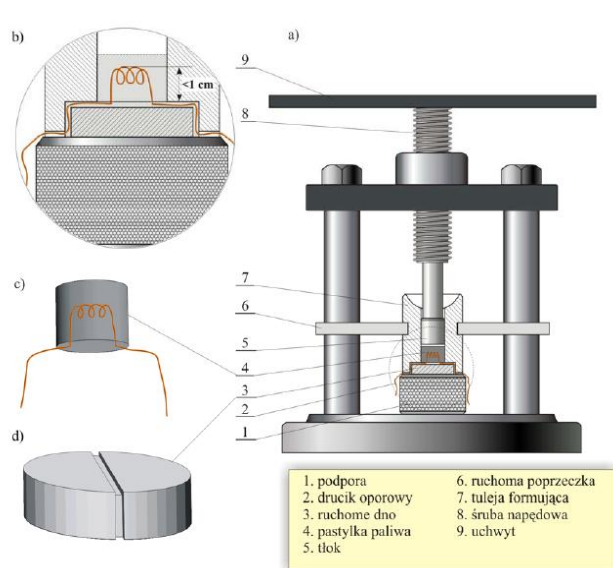
Toryfikację ślazu pensylwańskiego przeprowadzono w piecu przemysłowym ze stabilizacją temperatury z dokładnością do 1°C dla dwóch wartości temperatury procesu: 300 i 350°C oraz dla dwóch czasów wyprężania próbki, tj. 30 i 60 minut. Toryfikację przeprowadzono w atmosferze beztlenowej.

W celu oznaczenia ciepła spalania i wartości opałowej wszystkie próbki (zarówno biomasy surowej, jak i karbonizatów z dodatkiem parafiny) przygotowano w postaci sprasowanej pastylki. Na rys. 1 i 2 przedstawiono prasę śrubową do wytworzenia próbki. Ciśnienie sprasowania próbki było na poziomie około 100 bar.



Rys. 1. Widok ogólny prasy śrubowej do formowania próbek

Prasa śrubowa (rys. 1 i 2) do formowania próbek z materiału do brykietowania ma napęd ręczny (9). Na ruchomej poprzeczce (6) zawieszona jest tuleja formująca (7), w której sprasowuje się próbkę paliwa wraz z drucikiem опорowym (2), za pomocą tłoka (5) dociskanego przez śrubę (8). Od dołu tuleja jest zamknięta dnem (3) w postaci łatwo usuwalnej wkładki. Specjalna konstrukcja wkładki i podpory (1) ułatwia wydobycie z prasy gotowej próbki (4).



Rys. 2. Prasa do przygotowywania próbek karbonizowanego materiału. Schemat ogólny (a), sposób uformowania próbki (b), próbka po sprasowaniu (c), denko tulei formującej (d)

Badanie budowy i właściwości oraz ocena przydatności użytkowej, różnych rodzajów paliw stałych oraz biomasy, należy do zadań analizy paliw. Podstawowe jej działy to: analiza techniczna, analiza elementarna (pierwiastkowa) oraz badania właściwości koksowniczych. Do analizy technicznej zalicza się oznaczenie: wilgoci, popiołu, części lotnych oraz ciepła spalania i wartości opałowej. Zawartość wilgoci i popiołu jest miarą ilości balastu w próbce paliwa. Na podstawie zawartości części lotnych określa się stopień uwęglenia, od którego zależy wartość użytkowa substancji organicznej. Oznaczenie ciepła spalania i wartości opałowej stanowi podstawę oceny jakości paliwa jako surowca energetycznego [8].

Przy wykorzystaniu energetycznym podstawowe znaczenie odgrywa wartość opałowa paliwa, która zależy przede wszystkim od składu chemicznego i wilgotności. Wartość opałowa biopaliw waha się od 5 do 8 MJ/kg dla biomasy o wilgotności 50-60% do 15-17 MJ/kg dla biomasy podsuszonej, której wilgotność wynosi 15-20% i do ok. 20 MJ/kg dla biomasy całkowicie wysuszonej [9].

Istotnym problemem w procesie spalania biomasy jest zawartość wilgoci wynosząca nawet 50%. Wymagane jest wówczas stosowanie specjalistycznych kotłów, co jest opłacalne wyłącznie w ciepłowniach zawodowych średniej i dużej mocy. Spalanie w tradycyjnych kotłach C.O. jest możliwe wówczas, gdy zawartość wilgoci będzie mniejsza niż 15% [10]. W związku z tym istnieje konieczność dosuszania niektórych rodzajów biomasy, aby uzyskać pożądane parametry spalania oraz określoną wartość energetyczną paliwa [11].

Zawartość wilgoci w biomacie ślazuwca pensylwańskiego zależy od terminu zbioru. Według Szyszlak-Bargłowicz i in. [12] pędy ślazuwca zbierane w październiku zawierały średnio 43% wody. Najniższą wilgotnością rośliny charakteryzowały się od końca grudnia (24,9%) do lutego (12,1%). Wilgotność biomasy zbieranej bezpośrednio z pola uprawnego determinowana jest również warunkami pogodowymi. Zbiór jest najkorzystniej przeprowadzać przy tempera-

turze co najmniej kilku stopni poniżej zera [12]. Wilgotność roślin zależna jest także od średnicy łodyg [8] i zmienia się wzdłuż wysokości.

Ze względu na właściwości biomasy oraz różne jej postaci sposób ich wykorzystania do celów energetycznych także może być różny. Najprostszą oraz najbardziej rozpowszechnioną formą pozyskania energii z biomasy jest jej spalanie, jak również współspalanie z węglem w kotłach energetycznych. Biopaliwa stałe spalane są w sposób bezpośredni w celach grzewczych (w kotłach małej mocy i kotłach ciepłowniczych), a także do produkcji energii elektrycznej bądź skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Zarówno biomasa jak i węgiel mają taki sam lub zbliżony jakościowy skład chemiczny, jednakże występują istotne różnice ilościowe poszczególnych elementów. Z uwagi na różną budowę biomasy w stosunku do stałych paliw kopalnych różny jest również mechanizm ich spalania. Niektóre charakterystyczne cechy procesu spalania biomasy wymuszają modyfikację już istniejących lub korzystanie ze specyficznych, dedykowanych paliwu pochodzenia roślinnego rozwiązań palenisk i instalacji kotłowych, zapewniających wygodę obsługi i pełne wykorzystanie możliwości paliwa. Kotły w polskich elektrowniach nie są przystosowane do spalania biomasy. Większa zawartość wilgoci, części lotnych, mniejsza wartość energetyczna oraz niższy stopień uwęglenia wpływają przede wszystkim na temperaturę zapłonu paliwa, czas i temperaturę spalania, strumień ciepła generowanego w poszczególnych etapach spalania i wiele innych wielkości, istotnych dla energetycznego wykorzystania biomasy [10].

Dla karbonizatu ślázowca pensylwańskiego wyprażanego w temperaturze 350°C przez 60 minut dokonano również oznaczenia składu elementarnego za pomocą analizatora CHN628S. W tabeli 1 pokazano wybrane oznaczone pierwiastki, tj. węgiel wodór i azot dla analizowanej biomasy oraz dla porównania do węgla kamiennego [13].

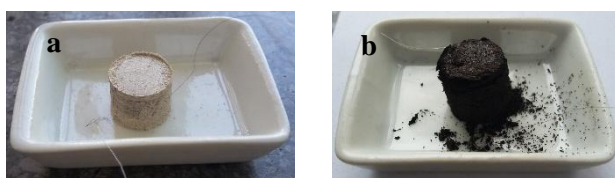
Tabela 1. Porównanie poszczególnych pierwiastków zawartych w węglu kamiennym i karbonizacie ślázowca pensylwańskiego

% masowe	Karbonizat ślázowca pensylwańskiego	Węgiel kamienny
C	67,4	75÷91
H	4,5	4,1÷6
N	0,5	1,3÷2
S	0	0,3÷0,7

Przeprowadzona analiza wykazała, że badany karbonizat charakteryzuje się zbliżonym do dolnej granicy składem pierwiastkowym do węgla kamiennego, co sugeruje, że mógłby on być z powodzeniem stosowany jako paliwo w kotłach węglowych C.O. bez konieczności ich modyfikacji. Ponadto, w ramach badań przeprowadzono również wyznaczenia własności cieplno – fizycznych, tj. oznaczenie zawartości wilgoci zgodnie z PN-80/04511, oznaczenie

zawartości popiołu zgodnie z PN-80/G-04512, oznaczenie ciepła spalania kalorymetrem KLM i obliczenie wartości opałowej zgodnie z PN-81/G-04513.

Oznaczenie ciepła spalania i wartości opałowej próbki może odbywać się na dwa sposoby, tj. luzem oraz w postaci uformowanej pastylki. Poprzednie badania prowadzone przez Autorów niniejszej pracy ujawniły, że w przypadku karbonizatów trudnością technologiczną okazała się być bardzo mała zawartość wilgoci, co uniemożliwiło wykonanie z nich wypraski (pastylki) w prasie śrubowej z napędem ręcznym. Oznaczenia ciepła spalania dla próbek węglonych przeprowadzono więc dla próbek w postaci sypkiej, osadzając drucik oporowy we wnętrzu tygła poniżej górnej powierzchni naważki. Jednakże z uwagi na fakt, że materiał ten jest bardzo lekki i charakteryzuje się małą gęstością nasypową podczas dokonania oznaczenia dochodziło do jego wywiewania z tygła, co było z kolei przyczyną pewnych rozbieżności w uzyskanych wynikach. Podobne trudności w oznaczeniu wartości opałowej biomasy po prażeniu są zjawiskiem naturalnym, co podkreśla m.in. Wisz i inn. [10]. Ostatecznie w celu oznaczenia ciepła spalania i wartości opałowej dla karbonizatów koniecznością stało się przygotowanie pastylki, co wiązało się ze znalezieniem odpowiedniego lepiszcza spajającego karbonizat. Na podstawie doświadczeń innych badaczy, jak choćby Krasodomskiego i inn. [14], którzy również napotykali problemy z przygotowaniem pastylki z karbonizatów w celu uzyskania wypraski, jako lepiszcz wykorzystano parafinę. Łączna masa próbki poddawanej analizie wynosiła około 1 g. Dodatek parafiny do karbonizatów stanowił od 10% do 15% masowych całej mieszaniny. Dodatkowo wyznaczono również wartość opałową parafiny, która wynosiła 40,888 MJ/kg. Rzeczywistą wartość opałową karbonizatów ślazowca pensylwańskiego obliczono uwzględniając wartość opałową parafiny oraz jej udział procentowy w całej próbce. Na rys. 3 a) i b) pokazano sprasowaną pastylkę uzyskaną z surowej próbki ślazowca i z karbonizatu wyprażonego w 350°C przez 60 min.



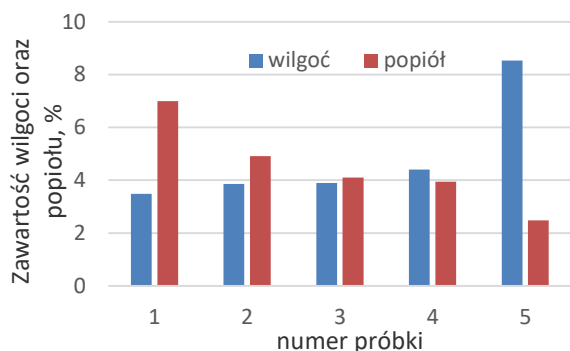
Rys. 3. Sprasowana biomasa ślazowca pensylwańskiego: a) próbka surowa; b) karbonizat z dodatkiem parafiny wyprażony w temp. 350°C przez 60 min

Analizie poddano łącznie pięć próbek biomasy ślazowca pensylwańskiego, a mianowicie:

- Próbka nr 1 - karbonizat otrzymany w wyniku prażenia w temperaturze 350°C przez 60 minut,
- Próbka nr 2 - karbonizat otrzymany w wyniku prażenia w temperaturze 300°C przez 60 minut,
- Próbka nr 3 - karbonizat otrzymany w wyniku prażenia w temperaturze 350°C przez 30 minut,
- Próbka nr 4 - karbonizat otrzymany w wyniku prażenia w temperaturze 300°C przez 30 minut,
- Próbka nr 5 - materiał surowy wstępnie wysuszony.

3. WYNIKI BADAŃ

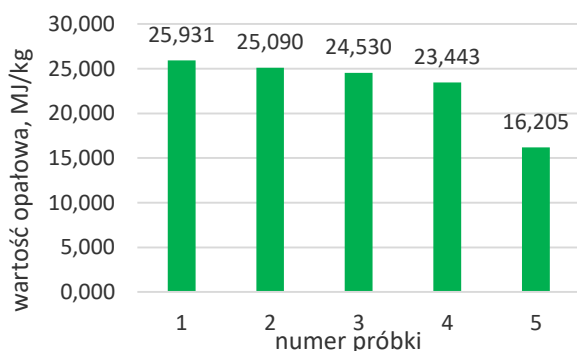
Na rys. 4 przedstawiono wyniki badań oznaczenia własności cieplno – fizycznych analizowanej próbki ślazuwa pensylwańskiego i jego karbonizatów.



Rys. 4. Procentowa zawartość wilgoci i popiołu w analizowanych próbkach biomasy surowej i karbonizatu

Przeprowadzone oznaczenia wykazały, że wraz ze zwiększeniem temperatury i czasu prażenia zawartość wilgoci w próbkach malała. Odwrotna sytuacja miała miejsce w przypadku popiołu, gdzie w próbce najbardziej uwęglonej zaobserwowano znaczny jego przyrost. Próbka surowa cechowała się ponad dwukrotnie większą wilgotnością aniżeli karbonizat najbardziej uwęglony.

Z kolei na rys. 5 przedstawiono wartości opałowe próbek.



Rys. 5. Wartość opałowa analizowanych próbek biomasy surowej i karbonizatu

Wartość opałowa w próbce wyprażanej w temperaturze 300°C przez 30 minut wynosiła średnio około 23,5 MJ/kg, zaś w próbce prażonej przez 60 minut w temperaturze 350°C około 26,5. W porównaniu do wartości opałowej surowej próbki równej 16,2 MJ/kg wyraźnie widać, że toryfikacja ślazuwa pensylwańskiego przyczyniała się do znacznej poprawy jego własności energetycznych. Biorąc pod uwagę, że węgiel kamienny posiada wartość opałową na poziomie 21÷30 MJ/kg, można stwierdzić, że toryfikat ślazuwa mógłby pod tym względem z nim konkurować.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania laboratoryjne potwierdziły, że uwęglanie w przedziale temperatury 300-350°C (toryfikacja) ślazuwca pensylwańskiego ma pozytywny wpływ na poprawę jego właściwości jako potencjalnego paliwa, które może zastąpić węgiel np. w domowych kotłach węglowych C.O. Toryfikacja w istotny sposób przyczyniła się do zwiększenia ciepła spalania i wartości opałowej toryfikowanych próbek poprzez znaczne zmniejszenie zawartości wilgoci w odniesieniu do próbki surowej. Jak zaobserwowano, dłuższy czas wyprężania prowadził do powiększenia wartości opałowej i do zmniejszenia wilgoci (co wydaje się być oczywiste) karbonizatu wskutek usuwania tlenu z rozpadających się molekuł ligniny i celulozy na prostsze związki. Jednakże, dłuższy czas wyprężania to przede wszystkim większa ilość energii niezbędnej do procesu, co powoduje wzrost kosztów produkcji karbonizatu. W wyniku badań okazało się, że czas wyprężania można skrócić nawet do 20-30 minut w temperaturze 300°C bez znaczącego uszczerbku na walorach opałowych powstałego paliwa. Odrębnym i bardzo istotnym problemem jest proces spajania karbonizatu. W wyniku długotrwałego wyprężania w wysokiej temperaturze powyżej 350°C może się okazać, że uzyskany materiał nie posiada wystarczająco dużo ligniny, która jest głównym składnikiem spajającym, aby tworzyć brykiety.

Dokonana analiza składu elementarnego karbonizatu wykazała, że posiada on podobny skład pierwiastkowy w zakresie składników palnych jak węgiel kamienny. Mógłby zatem być stosowany jako paliwo w kotłach węglowych C.O. bez dodatkowej potrzeby ich modyfikacji.

Można ponadto stwierdzić, że proces uwęglania biomasy (nie tylko ślazuwiec pensylwański) poza karbonizatem węglowym dostarcza również dużą ilość substancji ciekłych (około 20-40%) występujących pod ogólną nazwą bioolejów, które można przetwarzać na wartościowe substancje węglowodorowe.

Niekorzystnym efektem prażenia biomasy okazał się zwiększony udział substancji mineralnej (popiołu) w stosunku do próbki surowej. Jednakże z drugiej strony, w wyniku uwęglania pozbywamy się dużej ilości tlenu związanego w ligninie i celulozie.

Niniejszy artykuł powstał w ramach realizacji projektu pt. „Potencjał paszowy, energetyczny i ekonomiczny upraw ślazuwca pensylwańskiego na glebach lekkich, odłogowanych i rekultywowanych” w programie BIOSTRATEG, nr umowy:

BIOSTRATEG1/270745/2/NCBR/2015 finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

LITERATURA

- [1] A. Lisowski, *Technologie zbioru roślin energetycznych*. Warszawa: Wydawnictwo SGGW, 2010.
- [2] <http://biomax.com.pl/slazowiec-pensylwanski>.
- [3] H. Borkowska and B. Styk, *Ślázowiec pensylwański (Sida hermaphrodita Rusby) Uprawa i wykorzystanie. Wydanie II poprawione i uzupełnione*. Lublin: Wydawnictwo AR, 2006.
- [4] H. Borkowska, 'Zmiany zawartości suchej masy w plonie biomasy wierzby krzewiastej (wikliny) i ślázowca pensylwańskiego w zależności od terminu zbioru', *Ann. Universitatis Mariae Curie -Skłodowska Lublin – Pol.*, vol. LX, pp. 155–161, 2005.
- [5] Z. Ginalski, 'Uprawa wybranych roślin energetycznych', Radom, 2012.
- [6] A. Jasinskas, E. Sarauskis, D. Steponavi, and I. Liaudanskien, 'The assessment of Virginia mallow (*Sida hermaphrodita* Rusby) and cup plant (*Silphium perfoliatum* L .) productivity , physico e mechanical properties and energy expenses causkien e', *Energy*, vol. 93, pp. 606–612, 2015.
- [7] W. Denisiuk, 'Możliwości wykorzystania ślázowca pensylwańskiego w energetyce', *Inżynieria Rol.*, vol. 6, pp. 105–113, 2005.
- [8] J. Szyszlak, W. Piekarski, P. Krzaczek, and H. Borkowska, 'Ocena wartości energetycznych ślázowca pensylwańskiego dla różnych grubości pędów rośliny', *Inżynieria Rol.*, vol. 6, 2006.
- [9] I. Niedziółka and A. Zuchniarz, 'Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego', *Motrol*, vol. 8A, pp. 232–237, 2006.
- [10] J. Wisz and A. Matwiejew, 'Biomasa - badania w laboratorium w aspekcie przydatności do energetycznego spalania', *Energetyka*, vol. 09, pp. 631–636, 2005.
- [11] K. Kubica, M. Ściążko, and J. Raińczak, 'Współspalanie biomasy z węglem', in *Polityka Energetyczna. Zeszyt specjalny*, vol. 6, Kraków: Wyd. Instytutu GSMiE PAN, pp. 297–307.
- [12] J. Szyszlak-Bargłowicz and W. Piekarski, 'Wartość opałowa biomasy łądyg ślázowca pensylwańskiego w zależności od wilgotności', *Inżynieria Rol.*, vol. 8, no. 117, pp. 223–230, 2009.

- [13] P. Wasilewski, *Ćwiczenia laboratoryjne z koksownictwa*. Gliwice: „Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej, 1990.
- [14] M. Krasodomski, A. Wieczorek, and A. Kopydłowski, ‘Problemy z przygotowaniem próbek biomasy do oznaczania składu pierwiastkowego techniką spektrometrii rentgenowskiej’, no. 9, pp. 623–631, 2014.

TORREFACTION OF VIRGINIA MALLOW AS SUBSTITUTE FUEL FOR DOMESTIC BOILERS

Key words: torrefaction, *Sida Hermaphrodita* (Virginia Mallow), carbonized biomass, chemical analysis

Summary. The paper presents possibilities of applying Virginia Mallow plant – considered as energetic crops – as solid fuel for boilers due to its high growing yield. Torrefaction process was introduced to Virginia Mallow to eliminate typical drawbacks of biomass as direct fuel to coal fired boilers. In this way, a satisfactory good carbonized material, on the basis of chemical analysis similar to coal, was obtained. Carbonized biomass can be directly applied to coal fired boilers without their modification. Laboratory research confirmed that carbonization of Virginia mallow within the temperature range 300-350°C (torrefaction) has a positive impact on improvement of its properties as a potential fuel that can replace coal in domestic boilers. Torrefaction significantly contributes to increase in the heat of combustion as well as heating value of torrefied samples by reduction in the moisture content in comparison to a crude sample. Furthermore, as a result of this research it was found that the carbonization time can be reduced up to 20-30 minutes at 300°C without significant loss of heating values of the received fuel.

Anna Poskart, mgr inż., doktorantka na Wydziale Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej, e-mail: aniaposkart@wp.pl

Stanisław Szwaja, dr hab. inż., prof. PCz, zatrudniony na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej, e-mail: szwaja@imc.pcz.czyst.pl

Dorota Musiał, dr inż., adiunkt na Wydziale Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej, e-mail: musialdt@wip.pcz.pl