

WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-MECHANICZNE TOPINAMBURU (*HELIANTHUS TUBEROSUS* L.)

Jarosław Frączek, Krzysztof Mudryk, Marek Wróbel

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Celem pracy było określenie podstawowych właściwości topinamburu *helianthus annuus* L. odmiany Rubik istotnych w procesach produkcji biopaliw oraz określenie jego podatności na w procesach aglomeracji. Materiał do badań pozyskiwany był z Wydziałowej plantacji roślin energetycznych położonej przy Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki. Uzyskane wyniki badań stanowią cenną informację dla inżynierów maszyn przetwarzających biomasę z topinamburu jak również dla osób planujących przedsięwzięcia energetyczne z wykorzystaniem tej rośliny.

Słowa kluczowe: topinambur, biomasa, biopaliwa, brykiet

WSTĘP

Biomasa to najstarsze i współcześnie najszerzej wykorzystywane odnawialne źródło energii. Pozyskujemy ją głównie z odpadów i pozostałości po różnych formach produkcji rolniczej i przemysłowej np: słoma, wióry drzewne itp. Niektóre jej formy są coraz częściej celem, a nie efektem ubocznym produkcji (plantacje roślin energetycznych). Aby sprostać zapotrzebowaniu rynku paliw, wytwarzanych na bazie biomasy, konieczne jest zwiększenie ilości pozyskiwanej biomasy [Dreszer i in. 2003, Kubica 2003]. Może to być realizowane przez tworzenie plantacji roślin energetycznych. Tereny przeznaczone pod uprawy energetyczne cechują się zróżnicowanymi właściwościami siedliskowymi, a co za tym idzie istotna jest kwestia doboru odpowiedniej rośliny. Tylko takie podejście pozwoli na uzyskanie wysokich plonów biomasy.

W wielu ośrodkach naukowych trwają badania mające na celu określenie właściwości fizycznych różnych roślin mogących znaleźć zastosowanie w ekoenergetyce. Jedną z takich roślin jest topinambur *helianthus tuberosus* L.

Topinambur jest silnie spokrewniony ze słonecznikiem zwyczajnym *helianthus annuus* L. i należy do rodziny *Asteraceae*. Pochodzi z Ameryki, a do Europy został przywieziony w 1615. Jest mało wymagający i łatwy w uprawie, rośnie prawie na każdej glebie i jest odporny na mróz i suszę [Kowalczyk-Juśko 2003]. Pod względem uprawy spełnia wszystkie wymagania stawiane roślinom energetycznym. Jako jedna z nielicznych roślin, może być wszechstronnie wykorzystana na cele energetyczne tj.: zielona masa na biogaz, suche łodygi do produkcji biopaliw stałych, a bulwy do produkcji etanolu.

Cel i zakres pracy

Aby możliwe było poprawne projektowanie maszyn i technologii produkcji biopaliw stałych z topinamburu, niezbędne jest poznanie jego właściwości istotnie wpływających na przebieg procesów. Celem pracy było określenie podstawowych właściwości fizycznych pędów topinamburu (odmiany Rubik) istotnych w procesach przetwarzania na biopaliwa stałe. Przeprowadzono również proces aglomeracji ciśnieniowej badanego materiału w celu poznania jego podatności na brykietowanie w świetle obowiązujących norm.

Zakres pracy obejmował oznaczenie następujących właściwości:

- długości pędów oraz średnicy na wysokości cięcia podczas zbioru (ok. 4-5 cm),
- pracy cięcia w zależności od wilgotności i średnicy pędu,
- współczynnika sprężystości pędów,
- gęstości właściwej pędów,
- trwałości oraz gęstości brykietów,
- wartości opalowej.

Powyższe badania przeprowadzone zostały przy dwóch wilgotnościach materiału tj. 35% (podczas zbioru) oraz 18% (po okresie sezonowania).

Metodyka

Materiał do badań pozyskany był z doświadczalnej plantacji roślin energetycznych prowadzonej przez pracowników Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki. Zbiór pędów topinamburu został przeprowadzony jesienią 2009 roku za pomocą kosi spalinowej. Zebrany materiał został uformowany w wiązki i przewieziony w miejsce sezonowania (zadaszona wiata).

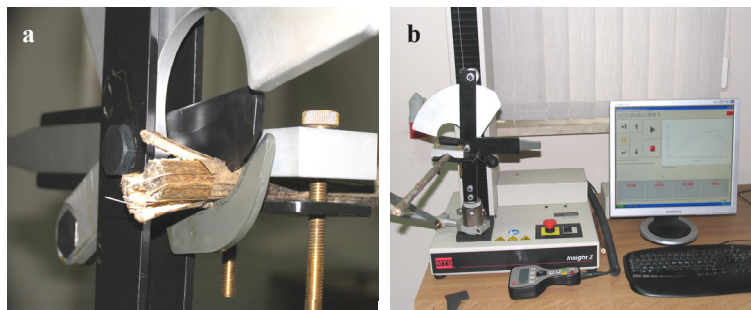
Geometria pędów

Przeprowadzono pomiary bezpośrednie geometrii pędów wykorzystując przymiar liniowy ($5\text{m} \pm 0,01$) oraz suwmiarkę elektroniczną ($140\text{ mm} \pm 0,01$).

Praca cięcia statycznego

Testy cięcia pędów celem oznaczenia pracy wykonane zostały na maszynie wytrzymałościowej Insight2 firmy MTS wyposażonej w przystawkę do cięcia materiałów roślinnych (rys. 1).

Przebieg testu cięcia jest zgodny z metodyką opracowaną przez Frączka i Mudryka (2006). Procedura metodyki pozwala określić przy wykorzystaniu oprogramowania TestWorks 4), pracę cięcia L [J] jako pole powierzchni pod krzywą wykresu siły cięcia i drogi krawędzi tnącej.



Rys. 1. Stanowisko do cięcia statycznego materiałów roślinnych; a – przystawka tnąca, b – jednostka sterująca (PC) z oprogramowaniem TestWorks 4

Fig. 1. A stand for static cutting of plant materials; a – cutting vacuum cap, b – control unit (PC) with TestWorks 4 software

Współczynnik sprężystości

Współczynnik sprężystości dla pędów wyznaczony został metodą statyczną, przy wykorzystaniu specjalnej przystawki służącej do wykonania próby zginania 3-punktowego. Przystawkę tę zamocowano na maszynie wytrzymałościowej MTS (rys. 2). Metodyka pomiaru oparta jest o normy PN-63/D-04117 oraz PN-75/D-04123.



Rys. 2. Maszyna wytrzymałościowa MTS wraz z przystawką do zginania 3-punktowego oraz jednostką sterująco-archiwizującą

Fig. 2. MTS testing machine with a 3-points' bending adapter and a control-archive unit

Współczynnik sprężystości dla pędów został wyznaczony przy dwóch poziomach wilgotności. Pomiar średnicy oraz wilgotności pędu przeprowadzono bezpośrednio przed oznaczeniem współczynnika sprężystości.

Gęstość właściwa

Oznaczenie gęstości właściwej pędów oraz brykietów topinamburu przeprowadzono na stanowisku do oznaczania gęstości właściwej cieczy i ciał stałych firmy RADWAG model WPS 510/C/1 (dokładność pomiaru masy 0,001 g). Pomiar przeprowadzono zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie PN-EN 15103:2010.

Wartość opałowa

Oznaczenie wartości opałowej pędów topinamburu przeprowadzono w kalorymetrze KL-12 firmy BitPrecyzja, zgodnie z procedurą zawartą w normie PN-EN 14918 2010.

Aglomeracja ciśnieniowa (brykietowanie) i pomiar trwałości oraz gęstości granulatów

W celu przygotowania materiału do testów aglomeracji sezonowane pędy o wilgotności 18% poddano rozdrabnianiu na sieczkarni toporowej (długość zrębkowania 20mm) (rys. 3a), a następnie na młynie bijakowym (rys. 3b) wyposażonym w sito robocze o wielkości oczek $\varnothing 10$ mm. Na rysunku 3c przedstawiono uzyskany materiał po procesie mielenia.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Maszyny do rozdrabniania: a – rozdrabnianie wstępne – sieczkarnia toporowa, b – rozdrabnianie zasadnicze – młyn bijakowy, c – uzyskany materiał przygotowany do aglomeracji

Fig. 3. Shredding machine: a – initial shredding – a flywheel forage harvester, b – basic shredding – hammer mill, c – obtained material prepared for agglomeration

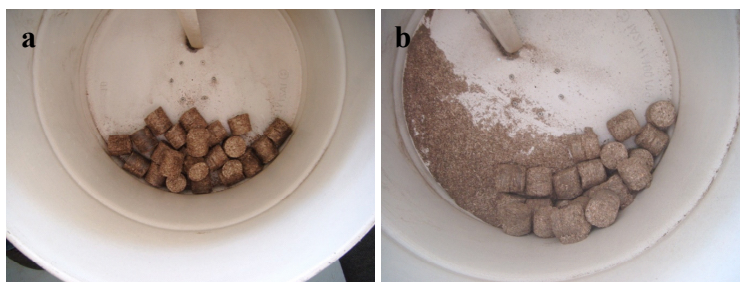
Tak przygotowany materiał następnie poddany został procesowi aglomeracji. Do badań aglomeracji przygotowane zostały próbki surowca o wilgotności 11, 13, 14,5 oraz 17,4%. Proces zagęszczania przeprowadzono w brykieciarce tłokowej, z otwartą komorą roboczą o napędzie hydraulicznym firmy POR ECOMEC model JUNIOR. W trakcie wytwarzania brykietów poprzez regulator hydrauliczny ustawiono ciśnienie 10 MPa, co przekładało się na ciśnienie w komorze roboczej rzędu 47 MPa.

W celu przeprowadzenia oceny jakości uzyskanych brykietów dokonano pomiarów ich geometrii, trwałości oraz gęstości właściwej. Pomiar trwałości odbywał się na stanowisku wykonanym w Katedrze Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki zgodnie z normą PN-EN 15210-2:2011 (rys. 4). Stanowisko składało się z testera bębnowego i wagi laboratoryjne Radwag o dokładności 0,1 g. Po przeprowadzeniu próby brykiet przesiewano przez sito otworowe o średnicy otworów 35 mm w celu usunięcia drobnych frakcji oderwanych od aglomeratu podczas trwania testu. Granulat pozostały na sicie został ponownie zważony. Trwałość brykietu obliczono ze wzoru:

$$DU = \frac{m_A}{m_E} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- DU – trwałość brykietu [%],
- m_A – masa próbki po teście [g],
- m_E – masa próbki przed testem [g].



Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Bęben testera z próbką brykietu: a – przed testem, b – po przeprowadzeniu badania
Fig. 4. A cylinder of a tester with a briquette sample: a – before test, b – after test

Wyniki badań

Uzyskane wyniki badań dotyczące charakterystyki materiału zostały przedstawione w tabeli 1. Dane dotyczące geometrii pędów topinamburu (długość, średnica przy podstawie) jak również dane dotyczące pracy ciecicia oraz współczynnika sprężystości powinny wspomóc proces projektowania geometrii układów zbierających (nagarniaczy, systemów tnących itp.). Wyniki dotyczące wartości opalowej stanowią niezbędną informację na etapie sporządzania zapotrzebowania na biopaliwo oraz szacowania potencjału energetycznego plantacji.

Odnosząc uzyskane wyniki badań dla topinamburu do wyników podobnych badań dla pędów wierzby *Salix viminalis* L. [Fraczek, Mudryk 2007], która obecnie w Polsce stanowi najbardziej popularną roślinę energetyczną, można stwierdzić, że:

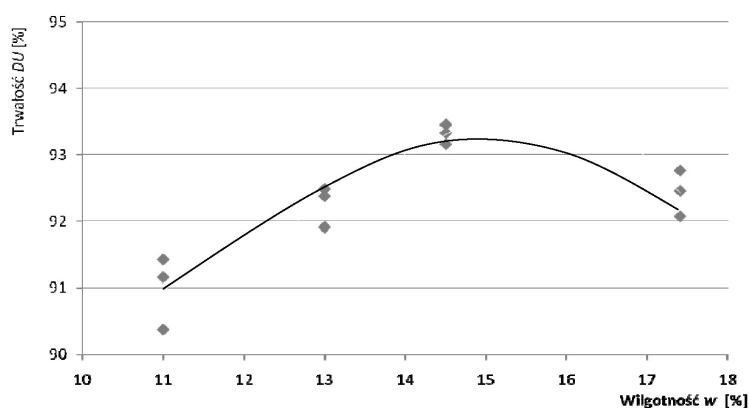
- wilgotność pędów topinamburu (35%) w okresie zbioru jest dużo niższa w porównaniu do pędów wierzby (ok. 50%) co powoduje zmniejszenie nakładów pracy oraz energii przy dosuszaniu,

- praca cięcia oznaczona metodą statyczną jest mniejsza od tej ponoszonej przy cięciu pędów wierzby ($0,079 \text{ J}\cdot\text{mm}^{-2}$, w-20%) co bezpośrednio wpływa na nakłady energetyczne w procesach rozdrabniania,
- właściwości cieplne topinamburu oznaczone przez wartość opałową ($12\text{-}16 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) świadczą, że stanowi on roślinę cenną energetycznie i porównywalną do innymi roślin.

Tabela 1. Wartości mierzonych parametrów dla topinamburu
Table 1. Values of the measured parameters for topinambour

Parametr	Wilgotność [%]	
	35	18
Średnica przy podstawie [mm]	8,14-19,1	
Długość pędów [m]	2,1-2,9	
Gęstość właściwa [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	453,2	368,3
Praca cięcia [$\text{J}\cdot\text{mm}^{-2}$]	0,014	0,023
Współczynnik sprężystości [MPa]	4561,3	7125,2
Wartość opałowa [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]	12,9-13,4	15,2-16,1

Na wykresie (rys. 5) przedstawiono przebieg trwałości brykietów względem wilgotności użytego surowca. Zauważyć można tendencję wzrostową trwałości aglomeratów wraz ze wzrostem wilgotności materiału do 14,5%, gdzie uzyskano najwyższą średnią trwałość 93,31%. Przy wyższej wilgotności materiału następuje spadek trwałości brykietu. Badanie to potwierdza stwierdzenia innych autorów, którzy wykazali dla innych materiałów roślinnych, iż najlepszą jakość brykietu uzyskujemy przy wilgotności z przedziału 13-15%. Przeprowadzony test trwałości brykietów nie niszczył ogólnej bryły aglomeratu. W trakcie testu zostały oderwane pojedyncze ziarna aglomeratu znajdujące się głównie na jego konturnach gdzie tester oddziaływał najmocniej.



Rys. 5. Przebieg zmian trwałości badanego brykietu w zależności od wilgotności surowca
Fig. 5. The course of durability changes of the tested briquette depending on moisture of the material

Przeprowadzone badania dotyczące gęstości właściwej brykietów wykazały, iż przy wilgotności powyżej 17,4 % brykiet nie spełnia wymagań jakościowych zawartych w normie (PKN-CEN/TS 14961 2007), które nie dopuszczają gęstości brykietów poniżej $0,80 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Potwierdzają to badania innych autorów [Grochowicz i in. 2004; Kulig, Łaskowski 2005] stwierdzających, iż brykietowanie materiałów powyżej 15% wilgotności znacząco obniża jakość uzyskanych aglomeratów. Brykiety z surowca o wilgotności 11% i 13% charakteryzują się dopuszczalną gęstością wynoszącą odpowiednio $0,80$ i $0,81 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Suchy materiał poddany aglomeracji charakteryzuje się większą sprężystością, przez co trudniej wypełnia wszystkie przestrzenie międzycząsteczkowe. Wpływa to na zwiększoną porowatość, a tym samym na stosunkowo niską gęstość właściwą. Jedynie brykiet wytworzony z materiału o wilgotności 14,5% odznacza się znacznie wyższą gęstością właściwą, przekraczającą $0,85 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Wyższa zawartość wody w materiale, powoduje wzrost jego elastyczności i poprawia dopasowanie się poszczególnych ziaren między sobą, co wpływa na wzrost gęstości. Wilgotność materiału powyżej 14,5% sprawiała spadek gęstości właściwej, ponieważ podwyższona wilgotność powodowała, iż brykiet po wyjściu z matrycy w okresie stabilizacji ulegał rozprężeniu (brak trwałych wiązań międzycząsteczkowych) zwiększając swoją objętość.

Podsumowanie

Topinambur jest rośliną, która ma duże perspektywy w produkcji biomasy na cele energetyczne. Praktycznie każdą część rośliny można przetworzyć na energię. Jednak najprostszym sposobem uzyskania energii z topinamburu wydaje się przetworzenie słomy na paliwa kompaktowane z przeznaczeniem do spalania.

Aby jakość wytworzonego brykietu spełniała obowiązujące normy do produkcji należy używać surowca o odpowiedniej wilgotności. Z przeprowadzonych badań wynika, że wilgotność materiału powyżej 15% uniemożliwia uzyskanie aglomeratu o odpowiedniej gęstości właściwej. Brykiet z surowca zawierającego mniej wody niż 11% również posiada tendencję do obniżenia gęstości właściwej poniżej $0,80 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Badając trwałość aglomeratów z topinamburu uzyskanych przy zastosowaniu dostępnych technik nie zauważa się odchylenia od obowiązujących norm. W badanym przedziale wilgotności 11-17,4% trwałość brykietu wynosiła, powyżej 90% co przy normie wymagającej trwałości powyżej 80% uważa się za bardzo dobry wynik.

W badaniach gęstości i trwałości brykietu najlepsze wyniki odnotowano dla aglomeratu wytworzonego z materiału o wilgotności 14,5%.

Bibliografia

- Dreszer K., Michalek R., Roszkowski A. 2003. Energia odnawialna – możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. Wyd. PTIR Kraków – Lublin - Warszawa. ISBN 83-9170-530-7.
- Fraćzek J., Mudryk K. 2006. Metoda określenia oporów cięcia pędów wierzby energetycznej. Inżynieria Rolnicza. Nr 13(88). s. 91-98.
- Grochowicz J., Andrejko D., Mazur J. 2004. Wpływ wilgotności i stopnia rozdrobnienia na energię zagęszczania i wytrzymałość brykietów lubinowych. MOTROL - Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa 6. s. 96-103.

- Kowalczyk-Juśko A.** 2003. Topinambur. Rośliny energetyczne pod red. Kościak B. Wydawnictwo AR w Lublinie. ISBN 83-7259-091-5.
- Kubica K.** 2003. Spalanie biomasy i jej współspalanie z węglem. Cz. I. Biul. Ekologiczny. Nr 5. s. 3-5.
- Kulig R., Laskowski J.** 2005. Wpływ procesu kondycjonowania surowców zbożowych na wybrane właściwości fizyczne granulatu. Acta Agrophysica. 5(2). s. 325-334.
- PN-63/D-04117 Fizyczne i mechaniczne własności drewna – Oznaczenie współczynnika sprężystości przy zginaniu statycznym.
- PN-75/D-04123 Drewno. Oznaczenie modułu sprężystości przy zginaniu statycznym w strefie czystego zginania.
- PN-EN 14918:2010 – Biopaliwa stałe. Oznaczenie wartości opałowej.
- PN-EN 15210-2:2011. Biopaliwa stałe - Oznaczenie wytrzymałości mechanicznej brykietów i peletów - Część 2: Brykiety.

SELECTED PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF TOPINAMBOUR (*HELIANTHUS TUBEROSUS* L.)

Abstract. The purpose of the work was to determine basic properties of topinambour *helianthus annuus* L. Rubik variety, which is essential in biomass production processes as well as to determine its sensibility in agglomeration processes. Material for research was obtained from energy plants plantation of the Department located at the Department of Production Engineering and Power Engineering. The results, which were obtained, constitute valuable information for engineers of machines processing biomass out of topinambour as well as for people who plan power-engineering enterprises with the use of this plant.

Key words: topinambour, biomass, biofuel, briquette.

Adres do korespondencji:

Jarosław Frączek; e-mail: Jaroslaw.Fraczek@ur.krakow.pl
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 120
30-149 Kraków