

OCENA WYBRANYCH PARAMETRÓW BIOMASY POZYSKANEJ Z PLANTACJI DRZEW SZYBKOROSNĄCYCH

Tadeusz Juliszewski

*Institut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

Dariusz Kwaśniewski

Institut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Krzysztof Mudryk, Marek Wróbel

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości wybranych roślin drzewiastych w aspekcie wykorzystania energetycznego. Zakres pracy obejmował założenie plantacji trzech gatunków drzew, tj. topoli *Populus L.*, olchy *Alnus Mill.* oraz robinii akacjowej *Robinia pseudoacacia L.* Badania miały na celu uzyskanie informacji o właściwościach roślin, istotnych przy wykorzystaniu na cele energetyczne i obejmowały następujące parametry: wysokość pędów, średnica przy podstawie, plon, wartość opałowa, gęstość właściwa oraz zawartość popiołu. Spośród badanych roślin najlepszymi parametrami, określonymi w ramach prezentowanej pracy, charakteryzowała się robinia akacjowa. Pomimo tych spostrzeżeń planowane są długookresowe badania w celu określenia między innymi optymalnych długości rotacji zbioru.

Słowa kluczowe: rośliny energetyczne, drzewa szybkorosnące, topola, olcha, robinia akacjowa

Wstęp

Obecnie produkowane na rynek biopaliwa stałe (zrębki, pelety, brykiety) w większości wytwarzane są z surowców drzewnych. Materiały te, najczęściej wytwarzane w tartakach oraz zakładach przetwarzających drewno, występują w postaci wstępnie rozdrobnionej masy często o niskiej wilgotności. Właściwości te sprawiają, iż technologia produkcji biopaliw z surowców drzewnych jest stosunkowo łatwa i dostępna, wykorzystaniem klasycznego zestawu urządzeń [Mudryk, Wróbel 2010; Mudryk 2010]. Ograniczone ilości tego

surowca sprawiają, iż w sytuacji ciągłego wzrostu popytu na biopaliwa stałe, producenci poszukują surowców alternatywnych. W przypadku regionów, gdzie zalesienie jest stosunkowo niewielkie, a tym samym dostępność do surowców drzewnych jest ograniczona, podejmowana jest często celowa produkcja biomasy (plantacje energetyczne) oraz wykorzystanie pozostałości roślinne.

Polityka energetyczna UE ukierunkowana na redukcję gazów cieplarnianych (między innymi CO₂) wymusza wdrażanie technologii produkcji energii opartych na OZE [Lipko 2010; MG 2011]. Duży wpływ na wzrost popytu na biopaliwa mają wprowadzone dopłaty do produkcji tzw. zielonej energii dla przedsiębiorstw energetycznych. Dodatkowo zachodzące zmiany gospodarcze na rynku paliw (uzależnione często od czynników politycznych) sprawiają, iż obserwujemy ciągły wzrost cen tradycyjnych nośników energii. Tak więc produkcja biopaliw stałych na potrzeby energetyki przemysłowej, jak i dla odbiorców indywidualnych, w obecnych warunkach rynkowych staje się coraz bardziej rentowna.

Wzrastające koszty energii elektrycznej jak i paliw płynnych sprawiają, iż coraz częściej producenci oraz odbiorcy zwracają większą uwagę na możliwość stosowania biopaliw niskoprzetworzonych. Paliwem, którego proces produkcji charakteryzuje się minimalnymi nakładami energetycznymi, są zrębki drzewne (rys. 1). Ich wymogi jakościowe są zawarte w normie PN-EN 14961-4: 2011. Paliwo to przy odpowiednich parametrach jakościowych może być wykorzystywane zarówno w dużych zakładach energetycznych, jak i przez odbiorców indywidualnych. Zrębki jako biopaliwo charakteryzują się także mniejszą wrażliwością na zmiany wilgotności, co przynosi wymierne korzyści w logistyce.

Surowcem do produkcji zrębków na cele energetyczne jest najczęściej biomasa leśna pozyskiwana bezpośrednio z terenów leśnych lub z zakładów przetwórczych jako pozostałość produkcyjna. Konkurencja rynkowa ze strony przemysłu papierniczego oraz płyt meblowych na zrębki leśne sprawia, iż istnieją prawne [Dz.U. Nr 156, poz. 969] i rynkowe ograniczenia produkcyjne tego sortymentu na cele energetyczne. Alternatywą dla produkcji zrębków leśnych na cele energetyczne jest możliwość wykorzystania biomasy z plantacji drzew szybkorosnących. Biomasa ta pozwala na uzyskanie zrębków o parametrach jakościowych wymaganych w normach, a jednocześnie nie konkuruje z dotychczasowymi odbiorcami zrębków leśnych (przemysł papierniczy, wytwórcy płyt drewnopochodnych).

Najbardziej popularną, z wyżej wymienionych gatunków drzew, jest wierzba energetyczna *Salix viminalis* L. Dotychczas prowadzone badania oraz realizowane projekty naukowe, obejmujące prace hodowlane [Sulima i in. 2006; Przyborowski, Sulima 2010], agrotechnikę uprawy oraz technologie przetwarzania [Kwaśniewski 2007; Juliszewski i in. 2006; Frączek i in. 2010], dały podstawy do opracowania nowoczesnych, efektywnych technologii produkcji biomasy wierzbowej [Kwaśniewski 2011; Frączek 2010]. Jednak ze względu na fakt, iż każda roślina uprawiana intensywnie powinna być wykorzystywana na stanowiskach dostosowanych do jej potrzeb, konieczne było poszukiwanie gatunków oraz odmian umożliwiających prowadzenie wysokowydajnych plantacji w różnych warunkach klimatyczno-glebowych.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Tendencja zmian nakładów energetycznych w zależności od stopnia przetworzenia surowców drzewnych

Fig. 1. Tendency of changes of energy supplies in relation to the degree of wood material processing

Dotychczas prowadzone prace badawcze wykazały, iż do produkcji biomasy na cele energetyczne można również wykorzystać inne gatunki drzew: topolę *Populus L.*, olchę *Alnus Mill.* oraz robinie akacjową *Robinia pseudoacacia L.* Brak jest jednak informacji dotyczących rotacji okresów zbioru, wielkości plonów w zależności od technologii uprawy czy też o właściwościach fizyczno-chemicznych istotnych w procesach przetwarzania.

Dlatego też w 2009 r. przy Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki założono plantację doświadczalną trzech gatunków drzew (topoli, olchy oraz robinii akacjowej) o powierzchni około 10 arów. Informacje zebrane podczas prowadzenia wspomnianej plantacji dały podstawy do założenia w 2011 r. drugiej o powierzchni 1 ha, na której wysadzono te same gatunki drzew. Założone plantacje będą umożliwiały prowadzenie doświadczeń pozwalających na uzyskanie informacji dotyczących:

- podstawowych właściwości fizyko-chemicznych pędów oraz dynamiki ich zmian w okresie wzrostu,
- plonowania w zależności od okresu rotacji zbioru,
- nakładów produkcyjnych podczas uprawy oraz procesów przetwarzania na biopaliwa (zrębki, brykiety oraz pelety),
- oraz innych związanych z technologią uprawy oraz ich przetwarzaniem.

Cel i zakres pracy

Celem pracy było opracowanie charakterystyk właściwości fizyko-chemicznych wybranych drzew na plantacjach szybko rosnących w aspekcie wykorzystania energetycznego.

Zakres prac obejmował założenie plantacji trzech gatunków drzew (2009 r.) oraz przeprowadzenie pomiarów następujących właściwości: wysokość pędów, średnica przy podstawie, plon, wartość opałowa, gęstość właściwa oraz zawartość popiołu.

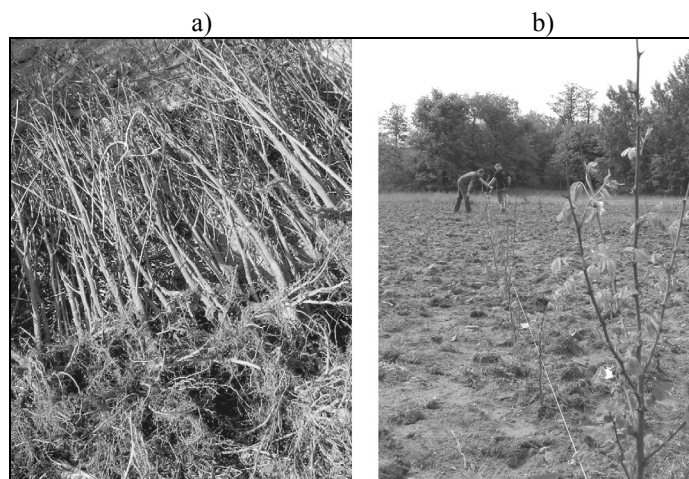
Charakterystyki właściwości badanych drzew sporządzono po pierwszym oraz trzecim roku uprawy. Dodatkowo przeprowadzono (dla części drzew) cięcie po pierwszym roku celem wykazania ewentualnego wpływu tego zabiegu, podobnie jak w przypadku wierzby *Salix viminalis* L. [Baran i in. 2007], na zwiększenie rozkrzewienia karpki.

Material i metodyka

Badania przeprowadzono na poletku doświadczalnym założonym w 2009 r. Plantacja miała spełniać dwa główne założenia:

- plantacja drzew szybko rosnących z przeznaczeniem na cele energetyczne, uprawa roślin w takich samych warunkach siedliskowych,
- możliwość prowadzenia wieloletnich badań nad „dynamiką” zmian właściwości istotnych w procesach przetwarzania na biopaliwa.

Do uprawy wybrano trzy gatunki drzew zaliczanych w literaturze jako tzw. szybko rosnące, tj. topolę *Populus* L., olchę *Alnus* Mill. oraz robinie akacjową *Robinia pseudoacacia* L. Materiał sadzeniowy zakupiono jako kwalifikowane szkółkarskie sadzonki (olcha oraz robinia) (rys. 2a) oraz sztabry (topola).



Fot.: M. Wróbel

Rys. 2. Zakładanie plantacji: a – materiał sadzeniowy, b – wysadzanie sadzonek do gruntu
Fig. 2. Establishing a plantation: a – planting material, b – planting into soil

Sadzonki roślin wysadzono ręcznie w rzędach o rozstawie 2,2 m i odstępie roślin w rzędzie 1 m. Takie rozstawienie roślin umożliwiło prowadzenie zmechanizowanych prac agrotechnicznych, zwłaszcza związanych z odchwaszczeniem w pierwszych latach uprawy (rys. 3).

Zaplanowane badania mające na celu uzyskanie informacji o właściwościach badanych roślin istotnych przy wykorzystaniu na cele energetyczne obejmowały następujące parametry:

- wysokość pędów [m],
- średnica przy podstawie na wysokości cięcia podczas zbioru (5-7 cm) [mm],
- plon [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$],
- wartość opałowa [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$],
- gęstość właściwa [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
- zawartość popiołu [%].

Do oznaczenia geometrii pędów wykorzystano przymiar liniowy ($5\text{m} \pm 0,01\text{ m}$) oraz suwmiarkę elektroniczną ($140\text{ mm} \pm 0,01\text{ mm}$). Oznaczenie gęstości właściwej pędów realizowano na stanowisku do oznaczania gęstości właściwej ciał stałych firmy RADWAG model WPS 510/C/1 (dokładność pomiaru masy 0,001 g). Pomiar realizowany był zgodnie z procedurą zawartą w normie PN-EN 15103:2010.

Określenie wartości opałowej pędów badanych roślin przeprowadzono na stanowisku do badań cieplnych z użyciem kalorymetru KL-12 firmy BitPrecyzja, natomiast procedura pomiarowa była zgodna z normą PN-EN 14918 2010. Zawartość popiołu przeprowadzono na stanowisku składającym się z pieca muflowego firmy SNOL, umożliwiającego spopielenie badanej próbki w temp. 550°C oraz wagi laboratoryjnej, umożliwiającej pomiar masy próbki przed oraz po spopieleniu z dokładnością pomiaru 0,1 mg. Plon oznaczono na podstawie masy pędów z 10, losowo wybranych karp. Masa pędów została oznaczona przy wykorzystaniu wagi platformowej z dokładnością 0,2 kg.



Fot.: D. Kwaśniewski

Rys. 3. Mechaniczna walka z chwastami
Fig. 3. Mechanical fighting with weeds



Fot.: D. Kwaśniewski

Rys. 4. Plantacja drzew w pierwszym roku uprawy
Fig. 4. Tree plantation in the first year of cultivation

Wyniki badań

Uzyskane wyniki badań przeprowadzonych na roślinach jednorocznych oraz trzyletnich przedstawione zostały w tabelach 1 i 2. Stanowią one jedynie fragment informacji, jaka zostanie uzyskana w trakcie zaplanowanych wieloletnich badań, realizowanych na założonych plantacjach doświadczalnych.

Analizując wyniki badań uzyskane dla roślin jednorocznych można stwierdzić, iż największym przyrostem biomasy charakteryzowała się robinia akacjowa. Plon roślin zarówno z karp ściętych po pierwszym roku ($11,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), jak i tych bez cięcia ($10,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) był największy w stosunku do topoli oraz olchy. Podobne relacje zaobserwowano dla mierzonej średnicy pędów przy podstawie (miejsce cięcia podczas zbioru). W przypadku wartości opałowej oraz zawartości popiołu, najkorzystniejsze właściwości posiadała robinia akacjowa, natomiast topola charakteryzowała się najniższymi parametrami. Podsumowując uzyskane wyniki dla analizowanych materiałów jednorocznych, można stwierdzić, iż robinia akacjowa charakteryzowała się najlepszymi parametrami energetycznymi.

Analizując natomiast wyniki uzyskane dla roślin trzyletnich, można stwierdzić, że tendencje zaobserwowane w pierwszym roku uprawy utrzymały się. Również w tym przypadku największy plon uzyskano dla robinii akacjowej, a najmniejszy dla olchy. Analizując dynamikę przyrostu biomasy w badanym okresie, można stwierdzić, że robinia akacjowa oraz topola zwiększyły plon 3,5-krotnie, natomiast olcha aż 4-krotnie. Badany okres jest zbyt krótki by jednoznacznie ocenić, który z badanych gatunków drzew ostatecznie charakteryzował się będzie najszybszym przyrostem plonu. Jeśli chodzi o właściwości istotne z punktu widzenia energetycznego, to wartość opałowa wszystkich badanych gatunków drzew nieznacznie wzrosła przy jednoczesnym nieznacznym spadku zawartości popiołu.

Tłumaczyć to można wzrostem zawartości drewna w pędach w stosunku do zawartości kory i łyka.

Tabela 1. Właściwości biomasy drzewnej po pierwszym roku uprawy

Table 1. Wood biomass properties after the first year of cultivation

Parametry	Topola		Olcha		Robinia akacyjowa	
	Cięta po I roku	Bez cięcia	Cięta po I roku	Bez cięcia	Cięta po I roku	Bez cięcia
Wysokość pędów [m]	2,17	2,35	0,97	1,18	1,85	2,14
Średnica pędów przy podstawie [mm]	21,2	24,6	15,2	18,5	24,6	29,5
Szacunkowy plon [$t \cdot ha^{-1}$]	7,1	6,4	1,98	1,85	11,8	10,5
Gęstość właściwa [$kg \cdot m^{-3}$]	935		956		985	
Wartość opałowa (w-25%) [$MJ \cdot kg^{-1}$]	12,6		13,1		13,4	
Zawartość popiołu [%]	2,6		1,95		1,86	

Tabela 2. Właściwości biomasy drzewnej po trzecim roku uprawy

Table 2. Wood biomass properties after the third year of cultivation

Parametry	Topola	Olcha	Robinia akacyjowa
Wysokość pędów [m]	6,55	2,01	4,56
Średnica pędów przy podstawie [mm]	5,55	3,78	7,24
Szacunkowy plon [$t \cdot ha^{-1}$]	23,6	7,8	38,3
Gęstość właściwa [$kg \cdot m^{-3}$]	945	967	991
Wartość opałowa (w-25 %) [$MJ \cdot kg^{-1}$]	12,9	13,6	13,9
Zawartość popiołu [%]	1,81	1,67	1,25

Wnioski

1. Spośród analizowanych roślin największy plon uzyskano w przypadku robinii akacyjowej. W pierwszym roku średni plon wynosił $11,15 t \cdot ha^{-1}$, a w trzecim – $38,3 t \cdot ha^{-1}$. Najmniejszym plonowaniem charakteryzowała się olcha – odpowiednio w badanych cyklach zbioru $1,9 t \cdot ha^{-1}$ oraz $7,8 t \cdot ha^{-1}$.
2. Pomimo najmniejszych plonów olcha charakteryzowała się największym przyrostem plonu, który w trzecim roku wzrósł 4-krotnie w stosunku do roku pierwszego.
3. Zaobserwowany wzrost wartości opałowej i spadek zawartości popiołu w pędach trzyletnich jest najprawdopodobniej spowodowany zwiększeniem się udziału drewna w stosunku do udziału kory.
4. Pomimo dotychczasowych spostrzeżeń wskazane jest prowadzenie długookresowych badań w celu określenia optymalnych długości rotacji zbioru.

Bibliografia

- Baran D., Kwaśniewski D., Mudryk K.** (2007): Wybrane właściwości fizyczne trzyletniej wierzby energetycznej. *Inżynieria Rolnicza*, 8(96), 7-12.
- Frączek J.** (red.) (2010): Produkcja biopaliw stałych. Aglomeracja biomasy. Rozdz. 2.3 monografii: Optymalizacja procesu produkcji paliw kompaktowych wytwarzanych z roślin energetycznych. PTIR, Kraków, ISBN 978-83-930818-0-6.
- Frączek J., Mudryk K., Wróbel M.** (2010): Nakłady energetyczne w procesie mielenia zrębków wierzby *Salix viminalis* L. *Inżynieria Rolnicza*, 4(122), 43-49.
- Juliszewski T., Kwaśniewski D., Baran D.** (2006): Wpływ wybranych czynników na przyrosty wierzby energetycznej. *Inżynieria Rolnicza*, 12(87), 225-232.
- Kwaśniewski D.** (2007): Techniczno-ekonomiczne aspekty zbioru na plantacjach wierzby energetycznej. *Inżynieria Rolnicza*, 6(94), 129-135.
- Kwaśniewski D.** (2011): Modelowe technologie zbioru a koszty produkcji biomasy z trzyletniej wierzby energetycznej. *Inżynieria Rolnicza*, 4(129), 167-176.
- Lipko K., Parczewski Z., Tatarewicz I., Klimpel A.** (2010): Długoterminowe prognozy popytu na energię i moc elektryczną w kraju dla potrzeb rozwojowych PSE Operator SA. *Elektroenergetyka – współczesność i rozwój*, 1(3), 5-21.
- Mudryk K.** (2010): Badania procesów przygotowania i aglomeracji materiałów roślinnych. Rozdział 3 [w:] Optymalizacja procesu produkcji paliw kompaktowych wytwarzanych z roślin energetycznych. (red.) J. Frączek, PTIR, Kraków, ISBN 978-83-930818-0-6.
- Mudryk K., Wróbel M.** (2010): Maszyny i urządzenia. Rozdział III.2 w *Przetwarzanie biomasy na cele energetyczne*. (red.) J. Frączek, PTIR, Kraków, ISBN 978-83-917053-9-1.
- Przyborowski J.A., Sulima P.** (2010): Wstępne badania nad tworzeniem mapy genetycznej *Salix* z wykorzystaniem markerów RAPD. *Zeszyty Problem. Post. Nauk Roln.*, 555, 621-627.
- Sulima P., Przyborowski J.A., Stolarski M.** (2006): Ocena przydatności wybranych gatunków wierzby do celów energetycznych. *Fragmenta Agronomica*, 3(91), 290-299.
- Dz.U. Nr 156, poz. 969 – Rozporządzenie MG z sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii.
- Ministerstwo Gospodarki. (2011): Raport zawierający analizę realizacji celów ilościowych i osiągniętych wyników w zakresie wytwarzania energii elektrycznej w odnawialnych źródłach energii w latach 2009-2010, z uwzględnieniem szerszej perspektywy czasowej [on-line], [dostęp 12.03.2012]. Dostępny w Internecie: <http://www.mg.gov.pl/node/15018>.
- PN-EN 14961-4: 2011 – Biopaliwa stałe – Specyfikacje paliw i klasy – Część 4: Zrębki drzewne do zastosowań nieprzemysłowych.

ASSESSMENT OF THE SELECTED PARAMETERS OF BIOMASS OBTAINED FROM A PLANTATION OF FAST-GROWING TREES

Abstract. The study presents research results of properties of selected tree plants in relation to energy use. The scope of the study covered establishing a plantation of three varieties of trees that is poplar *Populus L.*, alder *Alnus Mill.* and black locust *Robinia pseudoacacia L.* The purpose of the research was to obtain information on plant properties, significant for energy purposes and covered the following parameters: shoots height, diameter at the base, calorific value, specific density and ash content. Black locust characterised with the best parameters determined within the scope of the presented work among the researched plants. Despite these observations, a long-lasting research is planned to determine inter alia an optimal length of crop rotation.

Key words: energy plants, fast-growing trees, poplar, alder, black locust

Adres do korespondencji:

Tadeusz Juliszewski; e-mail: Tadeusz.Juliszewski@ur.krakow.pl
Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków