

Jarosław Frączek, Krzysztof Mudryk
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Akademia Rolnicza w Krakowie

OKREŚLENIE OBJĘTOŚCI ŁODYG WIERZBY *SALIX VIMINALIS*

Streszczenie

Celem pracy było opracowanie prostej i szybkiej metody określania objętości łodyg wierzby energetycznej nie wymagającej ścinania roślin. Przeprowadzono badania, na podstawie których sformułowany został model matematyczny określający przebieg zmian średnicy w funkcji wysokości łodyg wierzby. Posłużył on do wyprowadzenia wzoru na obliczenie objętości łodygi wierzby. Błąd pomiaru określony został poprzez porównanie wyników objętości wyliczonej ze wzoru z wynikami badań laboratoryjnych, w których objętość łodygi określono metodą zanurzeniową. Różnice między uzyskiwanymi wynikami nie przekraczały 6,6%.

Słowa kluczowe: wierzba energetyczna, objętość łodyg wierzby, biomasa, energia odnawialna

Wstęp

Człowiek wykorzystywał odnawialne źródła energii od bardzo dawna. Swoje potrzeby na ciepło, światło zaspokajał wykorzystując przede wszystkim takie zasoby przyrody jak: drewno, energię wody i wiatru, oleje roślinne itp. Obecna pozycja odnawialnych źródeł energii (OZE) w bilansie paliw i energii pierwotnej jest niewielka i w skali światowej wynosi tylko 18%.

W sierpniu 2001 roku Sejm zaaprobował „Strategię rozwoju energetyki odnawialnej”, w której postawiono, że w roku 2010 udział energii ze źródeł odnawialnych w bilansie paliw pierwotnych kraju wyniesie 7,5% a w 2020 roku wzrośnie do 14%. Polska podpisała również protokół z Kioto, zobowiązując się do redukcji gazów cieplarnianych o 6% w stosunku do roku bazowego 1988. Jak wykazują dane Krajowego Centrum Inwentaryzacji Emisji [KCIE 2001] największy udział w gazach cieplarnianych stanowi CO₂ emitowany głównie przez przemysł energetyczny (67,3%).

Na podstawie przyjętych przez rząd dokumentów określających wzrost zużycia OZE powstało wiele prognoz rozwoju poszczególnych źródeł energii w perspektywie następnych 20 lat i więcej. Według jednej z nich, przygotowanej przez EC BREC [Ministerstwo Środowiska 2000], największy udział w OZE stanowić będzie biomasa (około 85%), pozyskiwana głównie z drewna, roślin zbożowych oraz z plantacji roślin energetycznych. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że ponad 30% energii uzyskiwanej z OZE będzie pochodziło z indywidualnych kotłów. Zgodnie z powyższymi uwagami należy się spodziewać, że w ciągu najbliższych lat znacznie wzrośnie zainteresowanie stosowaniem paliw odnawialnych a w szczególności biomasy.

Według wielu autorów znacząca część biomasy będzie pozyskiwana z upraw roślin energetycznych [Ciechanowicz 2002; Kowalik 2002; Płotkowski, Szabla 2003]. Decydować o tym będzie uzyskiwany duży plon oraz możliwość zagospodarowania terenów wyłączonych z upraw roślin jadalnych (tereny zdegradowane, odłogowane z różnych powodów).

W chwili obecnej największą popularność w uprawach roślin energetycznych zdobyła wierzba, *salix viminalis* [Szczukowski i in. 2001; Szczukowski, Tworkowski 2001]. W związku z tym należy podjąć prace badawcze dotyczące rozpoznania poszczególnych etapów procesów produkcji (uprawy) oraz przetwarzania wierzby energetycznej. Konieczne jest określenie podstawowych właściwości fizycznych, co zaowocuje szybszym rozwojem technologii i możliwością optymalizacji poszczególnych procesów technologicznych [Labrecque i in. 2000, Kiernan i in.2003].

Jednym z istotnych parametrów fizycznych charakteryzujących biomasę wierzbową jest jej objętość. Określenie jej odbywa się najczęściej poprzez pomiar objętości pojedynczych - wcześniej ściętych łodyg. Metoda ta charakteryzuje się dużą dokładnością, jednak jest czaso- i pracochłonna. Jej stosowanie uniemożliwia również monitorowanie przebiegu zmian objętości badanej łodygi ze względu na konieczność jej ścięcia.

Obecnie nie ma opracowanych metod pozwalających określić objętość łodyg wierzby w trakcie wegetacji. Istniejące metody uniemożliwiają prowadzenia obserwacji na tych samych roślinach.

Cel i zakres

Celem pracy było opracowanie prostej i szybkiej metody określania objętości łodyg wierzby energetycznej. Założono, że metoda ta będzie bazowała na pomiarze średnicy łodygi, co umożliwi prowadzenie monitoringu zmian objętości wybranych roślin w czasie wegetacji.

Badaniom wstępnym poddano jednoroczne łądy wierzby energetycznej *salix viminalis* pozyskiwane w okresie listopada i grudnia 2005 r.

Metodyka i wyniki badań

Pędy wierzby o długościach od 1,8 do 3,0 m pochodziły z dwóch plantacji (rys. 1). Pierwsza z nich położona jest na terenie Akademii Rolniczej w Krakowie, druga natomiast w gospodarstwie prywatnym w Inwałdzie woj. małopolskie.



Rys. 1. *Material badany (łądy wierzby energetycznej salix viminalis na plantacji)*

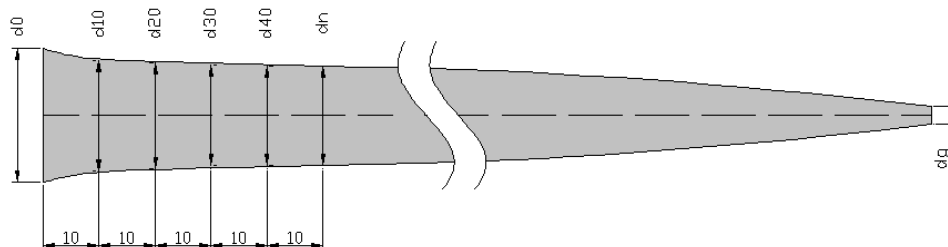
Fig. 1. *Analyzed material (stems of power willow salix viminalis at the plantation)*



Rys. 2. *Pomiar średnicy łądy (suwmiarka elektroniczna oraz przymiar listwowy)*

Fig. 2. *Measurement of stem diameter (electronic caliper and straight rule)*

Pierwsza część badań polegała na określeniu średnicy łądy na całej wysokości w odstępach co 0,1 m (rys. 3). Do pomiarów wykorzystano suwmiarkę elektroniczną firmy LIMIT o dokładności pomiaru 0,01 mm oraz przymiar listwowy z podziałką co 10 mm (rys. 2).



Rys. 3. Pomiar średnic na długości/wysokości lodygi wierzby

Fig. 3. Measurements of diameters over a length/height of willow stem

Przebadano pięć grup lodyg podzielonych na grupy ze względu na ich długość: 1,8 m; 2,2 m; 2,5 m; 2,7 m; 3 m. Liczebność lodyg w każdej z grup wynosiła 80 szt. Następnie uzyskane dane poddano analizie matematycznej w celu opisu kształtu lodyg figurą geometryczną. Najlepiej odzwierciedla kształt pędu bryła obrotowa gdzie tworzącą jest krzywa opisana wielomianem $y = -3,6 \cdot 10^{-10} \cdot x^3 + 8,7 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 - 0,00196 \cdot x + d_0/2$.

Tabela 1. Wyniki estymacji nieliniowej (d_0 – średnica przy podstawie pędu)

Table 1. Results of non-linear estimation (d_0 – diameter at the shoot base)

Długość pędu	Funkcja	R ² [%]	p
1,8	$y = -3,6 \cdot 10^{-10} \cdot x^3 + 8,7 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 - 0,00196 \cdot x + d_0/2$	96,0	0,05
2,2		97,3	
2,5		99,7	
2,7		98,0	
3,0		94,0	

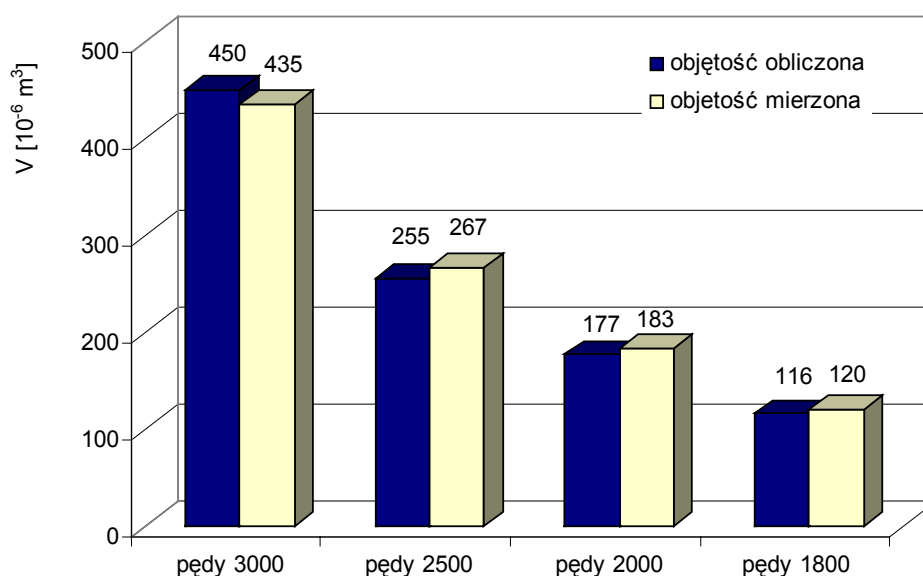
Dla tak otrzymanej funkcji krzywej objętość pędów określono z następującego wzoru:

$$V_p = \pi \int_a^b \left[-3,6 \cdot 10^{-10} \cdot x^3 + 8,7 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 - 0,00196 \cdot x + \frac{d_0}{2} \right]^2 dx \quad (1)$$

gdzie:

- a – początek przedziału całkowania (w modelu a = 0),
- b – koniec przedziału całkowania (w modelu b = wysokość rośliny),
- x – długość pędu.

W celu zweryfikowania zaproponowanej metody określania objętości łodyg wierzby z wykorzystaniem wzoru (1) wykonano dodatkowe pomiary objętości łodyg metodą zanurzeniową. Pomiarom poddano 180 łodyg o różnych długościach. Wartości średnie pomiarów objętości łodyg dwoma metodami zostały przedstawione na rysunku 4.



Rys. 4. Objętość pędów wierzby

Fig. 4. Willow shoot volume

Możemy zauważyć, że objętość pojedynczych łodyg wierzby określona przy wykorzystaniu proponowanego wzoru (1) jest zbliżona do wartości uzyskanych metodą laboratoryjną. Różnice w uzyskanych wynikach nie przekraczały 4%.

W celu uproszczenia metodyki obliczeń objętości pędów (szybkie szacowanie objętości, płonu) przyjęto hipotezę roboczą, że modelem zmian średnicy od wysokości pędu jest funkcja liniowa:

$$y = ax + d_0 \quad (2)$$

gdzie:

d_0 – średnica podstawy pędu

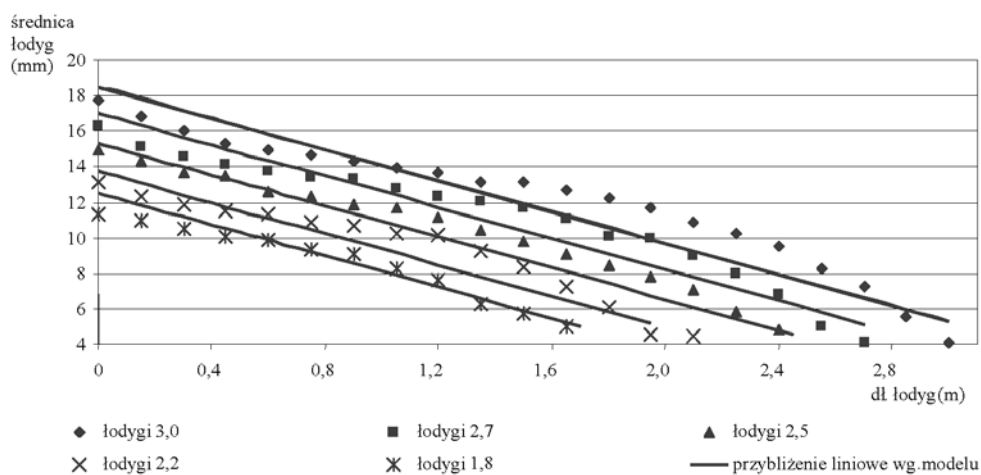
a – współczynnik – stały niezależnie od fazy wzrostu pędu

Dla poszczególnych serii pomiarów w poszczególnych grupach zostały obliczone wartości średnie. Tak uzyskane wyniki zostały przedstawione na rysunku 5. Na podstawie analizy statystycznej stwierdzono, że model liniowy przyjmuje następującą postać:

$$y = -0,0044 x + d_0 \quad (3)$$

przy współczynniku determinacji zmieniającym się od 0,91 do 0,95.

Tak sformułowany model został wykorzystany do wyprowadzenia wzoru na objętość łądygi. Określona została też górna średnica d_g równa 4mm, powyżej której łądyga nie jest zdrewniała a tym samym nie zaliczana do masy stanowiącej plon.



Rys. 5. Przebieg zmian średnicy łądygi od wysokości dla różnych grup

Fig. 5. Courses of changes in stem diameters as a function of height for different types of groups

Przeprowadzona analiza wyników wykazała, że pomiary średnicy d_0 (średnica przy podstawie) charakteryzują się dość dużym odchyleniem standardowym. W związku z tym, w celu zminimalizowania błędu przy obliczaniu objętości łądygi, przeprowadzono analizę pomiarów średnic w przedziale wysokości od 0 do 0,7 m. Wykazano, że najmniejsze odchylenie standardowe występuje dla pomiarów na długości 0,4 m (tab.1). W związku z tym średnica d_0 (przy podstawie) wykorzystywana w modelu została wyrażona w funkcji średnicy d_{40} (mierzonej na wysokości 0,4 m).

Tabela 1. Odchylenie standardowe dla pomiarów średnicy przy wysokościach od 0 do 0,7 m

Table 1. Standard deviation for diameter measurements with heights from 0 to 0,7 m

Grupy łądyg o długościach [m]	Wysokość pomiaru średnicy łądygi [m]							
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
	Odchylenie standardowe							
Łodygi 3,0	0,66	0,67	0,45	0,47	0,46	0,41	0,36	0,52
Łodygi 2,7	1,13	1,02	0,81	0,73	0,59	0,76	0,97	0,85
Łodygi 2,5	0,65	0,42	0,67	0,45	0,42	0,60	0,57	0,43
Łodygi 2,2	0,77	0,65	0,72	0,75	0,65	0,68	0,56	0,67
Łodygi 1,8	0,75	0,47	0,55	0,67	0,74	0,90	0,95	0,85

Ostatecznie wzór na objętość łądyg wierzby przyjmuje więc postać:

$$V = (3,14 + 7,54 \cdot 10^{-8} \cdot d_{0,4}) \left[\left[\frac{d_{0,4}}{2} + 0,88 \right]^2 + 2d_{0,4} + 19,53 \right] \quad (4)$$

gdzie:

V – objętość pędu (10^{-6} m^3),

$d_{0,4}$ – średnica pędu na wysokości 0,4 m od podłoża (m).

Różnice w uzyskanych wynikach z modelu opartego na wielomianie i na zależności liniowej są niewielkie nie przekraczając 2,6%. Potwierdza to możliwość stosowania opracowanej metody do szybkiego szacowania objętości pojedynczych pędów.

Podsumowanie

Zaproponowana metoda oznaczania objętości łądyg wierzby oparta jest o pomiar średnicy łądygi. Przeprowadzone badania weryfikacyjne potwierdziły możliwość stosowania tej metody do szacowania objętości łądyg wierzby (błąd pomiaru nie przekraczał 6,6%). Dzięki temu, że oznaczenie objętości odbywa się w oparciu o pomiar średnicy łądygi metoda ta umożliwi między innymi monitorowanie przebiegu zmian objętości w całym cyklu rozwoju rośliny. Oznaczenie objętości łądyg wykorzystując w/w metodę staje się bardzo proste i szybkie, co sprawia, że powinna znaleźć uznanie wśród rolników.

Możliwość oznaczania objętości pojedynczych łądyg w trakcie wegetacji a w konsekwencji objętości całej plantacji dostarczy plantatorom ważnych informacji dotyczących uprawy (np. związanych z nawożeniem) oraz pozwoli na zoptymalizowanie procesów związanych ze zbiorem a tym samym minimalizację kosztów.

Bibliografia

Ciechanowicz W. 2002. Biopaliwa. Aura 1.

Kiernan B.D., Volk T.A., Fillhart R.C., Adegbi H.G., Briggs R.D, Abrahamson L.P., White E.H. 2003. Biomass Power for Rural Development Technical Report. Application of poultry manure on willow biomass crops. July.

Kowalik P. 2002. Wiklinowe uprawy energetyczne. Czysta Energia 06.

Krajowe Centrum Inwentaryzacji Emisji, Inwentaryzacja emisji gazów cieplarnianych za rok 2001. <http://www.ios.edu.pl/kcie/emisjeGHG2001.htm>

Labrecque M., Teodorescu T., Vujanovic V. 2000. Willow Biomass Production in Southern Quebec: Potential, Problems and Future Perspectives., Syracuse, NY, USA. Third Conference, October 10-13.

Ministerstwo Środowiska, Strategia rozwoju energetyki odnawialnej. Warszawa, wrzesień 2000.

Płotkowski L. Szabla K. 2003. Drewno jako alternatywne źródło energii. Konferencja naukowo-techniczna „Możliwości wykorzystania biomasy na cele energetyczne”. Malinówka k/Elku 16-18 październik.

Szczukowski S., Tworkowski J. 2001. Produktywność oraz wartość energetyczna biomasy wierzb krzewiastych *Salix* sp. na różnych typach gleb w pradolinie Wisły. Post. Nauk Rol. Nr 2, s. 29-38.

Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M. Kisiel R. Leniec K. 2001. Wytwarzanie energii cieplnej w zgazowarce pirolitycznej z biomasy wierzb krzewiastych. Problemy Inżynierii Rolniczej, 4: 29-36.

DETERMINING THE VOLUME OF WILLOW STEMS *SALIX VIMINALIS*

Summary

The purpose of the work was to develop a simple and fast method of determining the volume of power willow stems, requiring no cutting of plants.

The tests, which were carried out, enabled to formulate a mathematical model defining a course of changes in diameter as a function of willow stem height. It was used for deriving a formula to calculate the willow stem volume. The measurement error was determined by comparing the results of the volume calculated based on the formula with the results of the laboratory tests, in which the stem volume was determined by the submersion method. Differences between the obtained results did not exceed 6,6%.

Key words: power willow, willow stem volume, biomass, renewable energy