

EMPIRYCZNA WERYFIKACJA METOD SZACUNKU OBJĘTOŚCI PĘDÓW NA KARPACH WIERZBY ENERGETYCZNEJ

Tadeusz Juliszewski, Krzysztof Klamka, Maciej Waligóra

Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Podstaw Rolnictwa, Akademia Rolnicza w Krakowie

Streszczenie. Przedstawiono trzy metody obliczania objętości pędów wierzby energetycznej oraz przeprowadzono empiryczną weryfikację możliwości zastosowania tych metod w kontekście przewidywania plonu wierzby (*Salix*) z 3-letniej plantacji.

Słowa kluczowe: metoda szacunkowa, plon, wierzba energetyczna

Wykaz oznaczeń

- d_{40} – średnica pędu na wysokości 40 cm od podłoża [mm],
- f_b – pierścnicowa liczba kształtu,
- H – wysokość pędu [m],
- H_2 – wysokość najstarszego przyrostu pędu łodygi 3-letniej wierzby (przyrost 2-letni) [m],
- L – długość pędu [m],
- L_2 – długość najstarszego przyrostu pędu łodygi 3-letniej wierzby (przyrost 2-letni) [m],
- r_w – średnica pędu mierzona przy wierzchołku [m],
- R – średnica pędu mierzona u podstawy, po ścięciu [m],
- w – objętość walca porównawczego.

Wstęp

Wierzba energetyczna uprawiana jest z przeznaczeniem do spalania, jako substytut konwencjonalnych nośników energii. Plantacje pozwalają uzyskiwać plon 16 – 19 ton suchej masy z powierzchni 1 hektara, w przeliczeniu na 1 rok uprawy [Szczukowski i in. 2003]. Jak wiadomo, jedną z technologii uprawy tej rośliny jest jej zbiór w 3-letniej rotacji [Dreszer i in. 2003]. Technologia ta jest stosowana na przeważającej powierzchni uprawy wierzby energetycznej – uprawa w 1-roczej rotacji stosowana jest relatywnie rzadko.

Oszacowanie przewidywanej wielkości plonu – końcowego lub podczas wegetacji – miałyby duże znaczenie praktyczne. Pozwoliłoby to bowiem nie tylko określić potencjalny zbiór (ilość biomasy z plantacji), ale także określać wpływ różnych czynników na przyrost roślin (np. wielkość opadów, nawożenie).

Metoda, która pozwoliłaby – bez ścinania roślin – oszacować wielkość plonu miałyby duże znaczenie praktyczne: przede wszystkim dla producentów (właścicieli plantacji). Według wiedzy autorów metody takiej wciąż brak i to było podstawą sformułowania celu i zakresu badań. Z literatury znane są 2 metody obliczeniowe [Grochowski 1973; Frączek i in. 2006], jednak dotychczas metody te nie były stosowane w odniesieniu do 3-letnich plantacji wierzby energetycznej. Wzór obliczeniowy, który podajemy za Grochowskim dotyczy obliczania objętości drewna pozyskiwanego z drzew, a wzór obliczeniowy zaproponowany przez Frączka i in. dotyczy objętości drewna z pędów wierzby jednorocznej. Metody obliczeniowe wykorzystują następujące formuły:

$$V_1 = f_b w \text{ [m}^3\text{]} \quad \text{[wg Grochowskiego]} \quad (1)$$

$$V_2 = (3,14 + 7,54 \cdot 10^{-8} \cdot d_{40}) \left[\left[\frac{d_{40}}{2} + 0,88 \right]^2 + 2d_{40} + 19,53 \right] \text{ [m}^3 \cdot 10^{-6}\text{]} \quad \text{[wg. Frączek i in.]} \quad (2)$$

Cel i zakres

Celem badań była praktyczna weryfikacja możliwości zastosowania wzorów obliczeniowych [(1) i (2)] do określania przewidywanej objętości plonu wierzby energetycznej z plantacji 3-letniej. Dodatkowo weryfikowano możliwość obliczenia objętości pędów rośliny przy założeniu, że budowa łodygi zbliżona jest do stożka ściętego, którego objętość można obliczyć ze znanego wzoru:

$$V_3 = \frac{1}{3} \pi (R^2 + R \cdot r + r^2) \cdot H \text{ [m}^3\text{]} \quad (3)$$

Pomiary geometryczne łodyg oraz rzeczywisty pomiar ich objętości wykonano na roślinach pochodzących z 3-letniej plantacji klonów oznaczonych symbolami liczbowymi 1052 i 1059. Łączny czas uprawy plantacji wyniósł 4 lata: po pierwszym roku pędy roślin ścięto do rozmnażania. Ścinane rośliny uprawiane były na nienawożonej glebie, piasku słabo gliniastym, w latach 2004 – 2006. Szerokość międzyrzędzi wynosiła 0,7 m, a odległość roślin w rzędzie 0,64 m. Obsada roślin wynosiła ok. 22000 szt./ha. Próby do analiz pobierano z plantacji o łącznej powierzchni 0,36 ha.

Metodyka

Jak wiadomo plon (objętość) roślin zależy od następujących czynników:

- obsada roślin (ilość karp na jednostce powierzchni),
- ilość łodyg na roślinie (karpie),
- parametry geometryczne łodyg (wysokość, średnica),
- ilość pędów bocznych na łodygach bocznych.

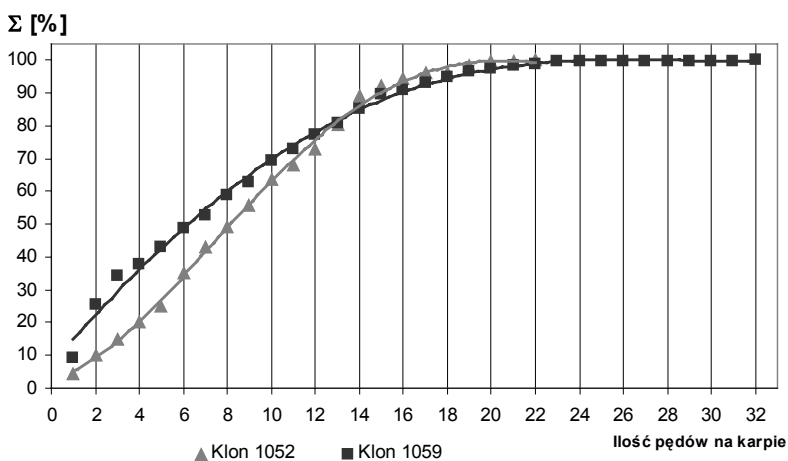
Na całej plantacji policzono ilość łodyg (pędów głównych) na każdej z karp obydwóch klonów (1052 i 1059). Parametry geometryczne łodyg mierzono w miejscach wynikających z wzorów obliczeniowych (1), (2) i (3) przy pomocy suwmiarki (średnice) i przy pomocy taśmy (długość i wysokość łodyg). Wielokrotne pomiary wykazały, że przekrój łodygi wierzby jest, w przybliżeniu, okręgiem, co oznacza, że do szacunkowych obliczeń wystar-

czy zmierzyć jednokrotnie średnicę łodygi. W tym miejscu autorzy podkreślają jednak, że długość łodygi rośliny różni się (jest większa) od wysokości rośliny (łodygi), gdyż łodyga wierzby niemal nigdy nie wyrasta pionowo ku górze. We wzorach obliczeniowych (1) i (3) wykorzystano wyniki pomiarów wysokości pędów głównych – bez ich części wierzchołkowej.

Po wykonaniu pomiarów geometrycznych łodyg, cięto je na mniejsze kawałki – o długości ok. 0,25 m – i poprzez zanurzenie w wodzie, w wyskalowanym pojemniku, określano rzeczywistą objętość. Pomiar objętości i obliczenia objętości (według wzorów (1), (2) i (3)) dotyczą tylko pędów głównych bez części wierzchołkowej, która była ostatnim jednorocznym przyrostem. Odgałęzienia boczne z pędów głównych i część wierzchołkowa (ostatni, jednoroczny, przyrost) były usuwane, a następnie ważone. Ważono także pędy główne. Na podstawie masy pędów głównych i ich zmierzonej objętości (w wyskalowanym pojemniku) obliczono gęstość drewna. Masa odgałęzień bocznych i części wierzchołkowej oraz gęstość drewna pozwoliły obliczyć objętość tych fragmentów rośliny, tj. części wierzchołkowej i odgałęzień bocznych.

Wyniki pomiarów i ich analiza

Ilość łodyg (głównych pędów wyrastających z karpki) wynosiła od 1 do 32 (tab. 1). Z około 90% karpk wyrastało do 16 łodyg – tylko z ok. 10% karpk wyrastało więcej łodyg (rys. 1). Na karpkach klonu 1052 było, na ogół, mniej pędów niż na karpkach klonu 1059. Dla określenia przewidywanego plonu konieczne są zatem nie tylko dane dotyczące obsady roślin na plantacji (np. na powierzchni 1 ha), ale także ilości pędów na karpkach.



Źródło: obliczenia własne autorów

Rys. 1. Wykres kumulacyjny ilości łodyg wyrastających z pojedynczych karpk na 3 letniej plantacji wierzby energetycznej (klon 1052 i 1059)

Fig. 1. Cumulative diagram showing the amount of stems growing from single rootstocks at 3-year-old energy willow plantation (no. 1052 and 1059 clones)

Tabela 1. Ilość łodyg wyrastających z pojedynczych karp dwóch klonów wierzby (1052 i 1059)
 Table 1. Quantity of stems growing from single rootstocks of two willow clones (1052 and 1059)

Ilość łodyg na pojedynczej roślinie	Ilość łodyg (szt.) na roślinach klonu	
	1052	1059
1	58	13
2	105	16
3	56	15
4	21	15
5	34	14
6	25	29
7	27	23
8	38	18
9	31	19
10	44	23
11	22	13
12	27	14
13	24	22
14	27	26
15	29	9
16	9	6
17	14	5
18	10	3
19	12	3
20	5	4
21	5	
22	5	1
23	3	
25	1	
27	1	
32	1	
Suma	644	291

Źródło: obliczenia własne autorów

Długość łodygi roślin klonu 1052 była średnio większa o 8 cm niż jej wysokość i średnio o 11 cm większa dla roślin klonu 1052 (tab. 2 i 3). Wyniki powyższe pochodzą z pomiarów 44 łodyg każdego z klonów.

Empiryczna weryfikacja metod...

Tabela 2. Porównanie wymiarów geometrycznych pędów 3 letniej wierzby (na 4 letniej karpie) klonu 1052 i 1059

Table 2. Comparison of geometrical dimensions of a 3-year old willow sprouts (on a 4-year-old rootstock) for clones no. 1052 and 1059

Klon	Długość łodygi L [m]		Wysokość łodygi H [m]		Różnica $L - H$ [m]	
	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
1052	4,61	1,08	4,53	1,07	0,08	0,04
1059	4,83	0,97	4,72	0,99	0,11	0,16

\bar{X} - średnia, σ - odchylenia standardowe

Źródło: obliczenia własne autorów

Tabela 3. Porównanie wymiarów geometrycznych 2-letnich przyrostów wierzby

Table 3. Comparison of geometrical dimensions of 2-year-old willow increments

Klon	Długość łodygi L_2 [m]		Wysokość łodygi H_2 [m]		Różnica $L_2 - H_2$ [m]	
	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
1052	3,79	0,97	3,71	0,96	0,08	0,04
1059	3,77	0,72	3,66	0,75	0,11	0,16

\bar{X} - średnia, σ - odchylenia standardowe

Źródło: obliczenia własne autorów

· - przyrost z roku 2004 (1-szy przyrost) i 2005 (2-gi przyrost). Część wierzchołkowa (3-ci przyrost) w roku 2006 był odcinany i jego objętość była oznaczana razem z odgałęzieniami bocznymi.

Różnica pomiędzy średnią długością łodyg, a ich średnią wysokością wynosi więc 2% i w szacunkowych obliczeniach wydaje się nieistotna. Ponieważ na plantacji łatwiej zmierzyć wysokość łodyg niż ich długość – zwłaszcza roślin powyżej 2 metrów wysokości – to do szacunkowych obliczeń można wykorzystać pomiar wysokości, korygując – ewentualnie wyniki obliczeń objętości o niewielki błąd wynikający ze wspomnianych różnic.

Średnice łodyg obydwóch klonów (1052 i 1059) mierzone w tych samych miejscach, były takie same (wartości średnie), nieznacznie tylko różniąc się zmiennością (odchylenie standardowe) – tab. 4.

Tabela 4. Średnica łodyg wierzby klonów 1052 i 1059

Table 4. Willow stem diameter for clones no. 1052 and 1059

Klon	Średnica u podstawy łodygi R [m]		Średnica d_{40} [m]		Średnica wierzchołka r_w [m]	
	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
1052	0,03	0,008	0,02	0,007	0,01	0,002
1059	0,03	0,007	0,02	0,006	0,01	0,002

\bar{X} - średnia, σ - odchylenia standardowe

Źródło: obliczenia własne autorów

· - średnica wierzchołka pędu głównego po odcięciu 3-go przyrostu.

Obliczeniowe różnice objętości łodyg roślin obydwóch klonów wynikają zatem z różnic ich wysokości, a nie średnicy (obwodu). Wyniki tych obliczeń zastosowano w tab. 5.

Tabela 5. Średnia objętość i odchylenie standardowe pojedynczej łodygi wierzby energetycznej mierzona i obliczona dla klonu 1052 i 1059

Table 5. Average volume and standard deviation of a single energy willow stem, measured and computed for clones no. 1052 and 1059

Klon	Objętość obliczona wg wzorów [cm ³]						Objętość zmierzona [cm ³]	
	V ₁		V ₂		V ₃		\bar{X}	σ
	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ		
1052	3919	1918	713	316	4447	2890	1068	753
1059	3507	1815	668	272	4291	2743	980	672

\bar{X} - średnia, σ - odchylenia standardowe

Źródło: obliczenia własne autorów

Żaden z wyników obliczeń objętości łodyg nie jest zbliżony z wynikiem bezpośredniego pomiaru objętości (w wyskalowanym pojemniku). Największe różnice, w zasadzie wykluczające możliwość praktycznego wykorzystania wzorów obliczeniowych, dotyczą wyników uzyskanych według wzorów (1) i (3).

Stosunkowo mniejsze różnice pomiędzy rzeczywistą objętością łodyg, a objętością obliczoną, dotyczą wzoru 2 [Frączek i in. 2006]. Obliczona, średnia, objętość łodyg była mniejsza od objętości zmierzonej o ok. 33% dla klonu 1052 i o ok. 32% dla klonu 1059. Formułujemy zatem hipotezę, iż dla szacunkowych obliczeń objętości łodyg możliwe jest zastosowanie wzoru (2) i powiększenie wyniku obliczeń o ok. 33%.

Z wykonanych pomiarów masy roślin wynika, że odgałęzienia boczne i część wierzchołkowa stanowiły średnio 22,4% ogólnej masy roślin klonu 1052 i 20,7% ogólnej masy roślin klonu 1059. Masa jednostkowa pędów wynosiła 1097,8 kg·m³ dla roślin klonu 1052 i 1022,2 kg·m³ dla roślin klonu 1059 – obliczono ją na podstawie ważenia pędów i pomiarów objętości (w pojemniku). Obliczona, średnia, objętość odgałęzień bocznych i części wierzchołkowej na jednej łodydze wynosi więc 201 cm³ dla klonu 1052 i 188 cm³ dla klonu 1059. Odgałęzienia boczne z pędów głównych i część wierzchołkowa stanowiły więc 18,8% całkowitej, średniej, objętości pędu głównego roślin klonu 1052 (201 cm³ w odniesieniu do 1068 cm³ – por. tab. 4) i 19,2 % (188 cm³ w odniesieniu do 980 cm³) roślin klonu 1059.

Aby obliczyć łączną objętość łodyg, tj. pędów głównych i odgałęzień bocznych z częściami wierzchołkowymi, należało by zatem do objętości pędów głównych jeszcze dodać ok. 19% objętości odgałęzień bocznych i części wierzchołkowej (ostatni jednoroczny przyrost).

Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań wskazują, że do szacunkowych obliczeń całkowitej objętości łodyg 3-letniej wierzby energetycznej można zastosować wzór obliczeniowy odnoszący się do wierzby jednorocznej powiększając wyniki obliczeń o ok. 52%, w tym 33% na

różnicę pomiędzy obliczoną objętością pędów głównych a ich rzeczywistą objętością, oraz 19% na objętość odgałęzień bocznych i części wierzchołkowej.

Hipotezę tę formułujemy tu jednak jedynie jako konsekwencję dotychczasowych badań i uzyskanych wyników, nie zaś w wersji potwierdzonej empirycznie w stopniu uzasadniającym propozycję praktycznego wykorzystania formuły obliczeniowej. Będzie to przedmiotem dalszych badań, jakie są obecnie kontynuowane przez autorów.

Bibliografia

- Dreszer K.A., Michalek R., Roszkowski A.** 2003. Energia odnawialna – możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. PTIR. Kraków – Lublin – Warszawa. ISBN 83-917053-0-7
- Frączek J., Mudryk K.** 2006. Określenie objętości łądyg wierzby *Salix viminalis*. Inżynieria Rolnicza. Nr 13(88) s. 99-107.
- Grochowski J.** 1973. Dendrometria. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Warszawa.
- Szczukowski S., Budny J.** 2003. Wierzba krzewiasta – roślina energetyczna. Olsztyn. ISBN 83-9152241-5-9

EMPIRICAL VERIFICATION OF METHODS USED TO ESTIMATE THE VOLUME OF SPROUTS IN ENERGY WILLOW ROOTSTOCKS

Summary. The paper presents three methods used to compute the volume of energy willow sprouts. Moreover, the researchers carried out empirical verification of potential to use these methods for the purpose of predicting willow (*Salix*) crop from a 3-year-old plantation.

Key words: estimation method, crop, energy willow

Adres do korespondencji:

Tadeusz Juliszewski; e-mail: juliszewski@ar.krakow.pl
Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Podstaw Rolnictwa
Akademia Rolnicza w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków