

## **POMIAR POWIERZCHNI PRZEKROJU PĘDU WIERZBY SALIX VIMINALIS L. Z WYKORZYSTANIEM DIA**

Jarosław Frączek, Krzysztof Mudryk

*Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

**Streszczenie.** Istotny wpływ na właściwości fizyczne, a w szczególności mechaniczne pędów, ma ich budowa anatomiczna. Na przekroju pędów wierzby wyróżnić można następujące elementy: kora, łyko, drewno oraz rdzeń. Właściwości fizyczne tych elementów różnią się, a tym samym mają różny wpływ na procesy technologiczne np. cięcia. Z tych względów celem pracy było określenie udziału głównych składowych przekroju poprzecznego pędu. Do analizy przekroju poprzecznego pędów wykorzystano DIA (Digital Image Analysis). Przekroje wykonane zostały przy wykorzystaniu mikrotomu Ergostar HM 200 firmy Microm. Uzyskane wyniki badań umożliwiły między innymi określić model opisujący udział drewna w przekroju poprzecznym pędu.

**Słowa kluczowe:** wierzba, biomasa, budowa anatomiczna

### **Wstęp**

Względy ekonomiczne, jakościowe i technologiczne wskazują na konieczność systemowego podejścia do procesu produkcji biopaliw np. zrębków opałowych. Racjonalne obniżenie kosztów produkcji zrębków pochodzących między innymi z plantacji wierzby wymaga przede wszystkim poznania i opisanie wpływu właściwości fizycznych pędów na przebieg procesów technologicznych [Kronbergs, Mareks 2004]. Tylko kompleksowe poznanie tych właściwości może zaowocować optymalizacją istniejących systemów oraz wdrożeniem nowoczesnych układów deklarowanych do przetwarzania biomasy o określonych cechach. Wskazane jest zatem określenie właściwości fizycznych pędów i zrębków wierzby energetycznej w aspekcie procesów przetwarzania [Pastorek i in. 2004; Kara i in. 2003].

Istotny wpływ na właściwości fizyczne, a w szczególności mechaniczne pędów, ma między innymi ich budowa anatomiczna [Frączek, Mudryk 2007]. Na przekroju pędów wierzby wyróżnić można następujące elementy: kora, łyko, drewno oraz rdzeń. Ich właściwości fizyczne różnią się od siebie, a co za tym idzie mają różny wpływ na procesy przetwarzania np. cięcia.

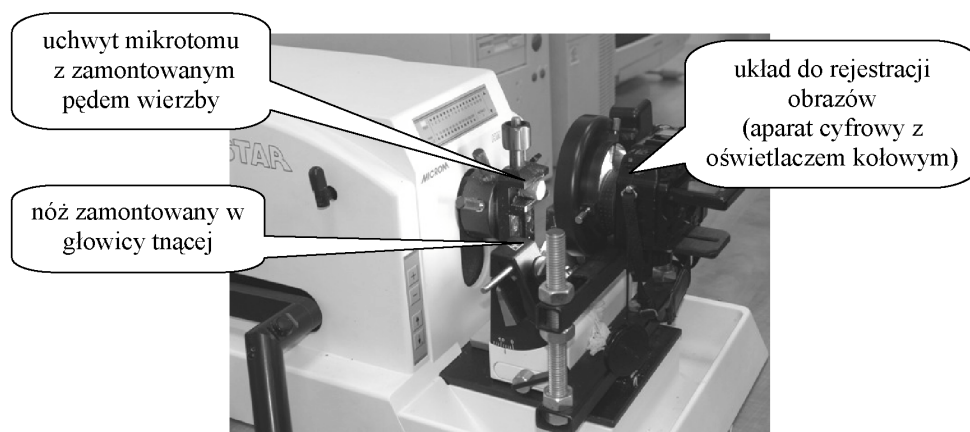
### **Cel i zakres pracy**

Zmienna budowa makroskopowa wierzby sprawia, że właściwości fizyczne na przekroju pędu różnią się od siebie, a co za tym idzie mają różny wpływ na proces cięcia. Konieczne więc jest oznaczenie udziału głównych elementów przekroju pędu oraz ich właściwości fizycznych.

Z tych względów celem pracy było określenie udziału powierzchni głównych składowych przekroju poprzecznego pędu w zależności od jego średnicy oraz wilgotności.

## Metodyka

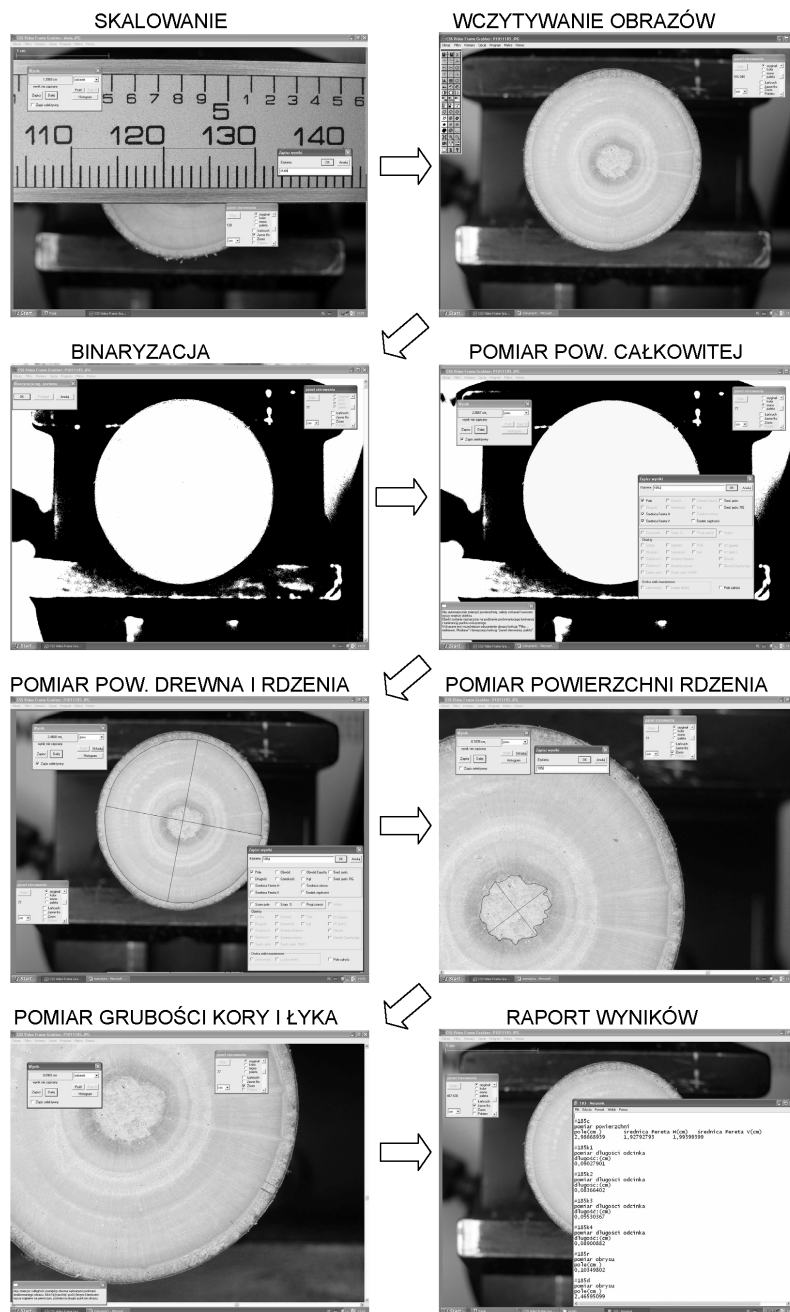
Do analizy przekroju poprzecznego pędów wykorzystano DIA (Digital Image Analysis). Przekroje wykonane zostały przy wykorzystaniu mikrotomu Ergostar HM 200 firmy Microm będącego na wyposażeniu Laboratorium Agrofizycznego Katedry Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki. Umożliwia on uzyskanie stałej odległości pomiędzy przekrojami w granicach od 5 do 250  $\mu\text{m}$  przy zachowaniu równoległości płaszczyzn przekrojów. W skład stanowiska badawczego wchodzi Mikrotom wraz z uchwytem, na którym zamocowano aparat cyfrowy firmy OLIMPUS. Zdjęcia wykonywano w systemie makro z odległości 5,5 cm w formie JPEG o rozdzielczości 2560x1920 pikseli. Dodatkowo, w celu równomiernego oświetlenia uzyskanych przekrojów zastosowano oświetlacz kołowy (rys. 1). Akwizycja obrazu następowała bezpośrednio po odcięciu przez nóż mikrotomu plastra pędu.



Rys. 1. Stanowisko do wykonywania przekrojów pędu i akwizycji ich obrazu  
Fig. 1. Station for making of sprout cross-sections and acquiring their images

Kolejnym etapem była analiza uzyskanych obrazów przy użyciu programu Multiscan v.14.96. Pomimo prób zastosowania różnych sposobów przetwarzania obrazów, w których stosowano rozbudowane filtry morfologiczne, nie udało się wypracować procedury, która z zadowalającą dokładnością pozwalałaby na wyizolowanie poszczególnych elementów pędu. O ile było to możliwe w przypadku całego przekroju poprzecznego, o tyle na skutek małego zróżnicowania między pikselami tworzącymi obraz, w przypadku dla rdzenia, drewna oraz kory i łyka było niemożliwe. Wynikało to z licznych zniekształceń i przebarwień poszczególnych części. Konieczne zatem było opracowanie nowej procedury pomiaru, która bazuje na pomiarze ręcznie zakreślonej powierzchni.

## Pomiar powierzchni przekroju...



Rys. 2. Procedura określenia powierzchni składowych przekroju pędu  
Fig. 2. The procedure allowing to determine component areas of sprout cross-section

Poszczególne etapy tej procedury zostały przedstawione na rysunku 2. Przed rozpoczęciem właściwej analizy uzyskanych zdjęć przeprowadzono skalowanie. Polegało ono na wskazaniu dwóch punktów na obrazie podziałki i przypisaniu im jednostki długości. Następnie wczytywane obrazy przekrojów poddawano binaryzacji celem uzyskania czarnych obiektów na białym tle. Kolejnym etapem była automatyczna identyfikacja całkowitego przekroju pędu oraz wykonanie pomiaru całkowitego pola powierzchni  $A_c$  [mm<sup>2</sup>] oraz średnic Fereta  $H$  i  $V$  [mm]. Jak już wcześniej wspomniano, do pomiaru powierzchni drewna wraz z rdzeniem  $A_{dr}$  [mm<sup>2</sup>] konieczne było ręczne obrysowanie linii styku drewna z łykiem. Podobnie postępowano przy pomiarze powierzchni samego rdzenia  $A_r$  [mm<sup>2</sup>]. Wszystkie uzyskane wyniki pomiarów były zapisane w raporcie.

Każdemu pomiarowi przypisywano identyfikator powiązany z numerem przekroju. Na podstawie wyników zawartych w raporcie obliczono:

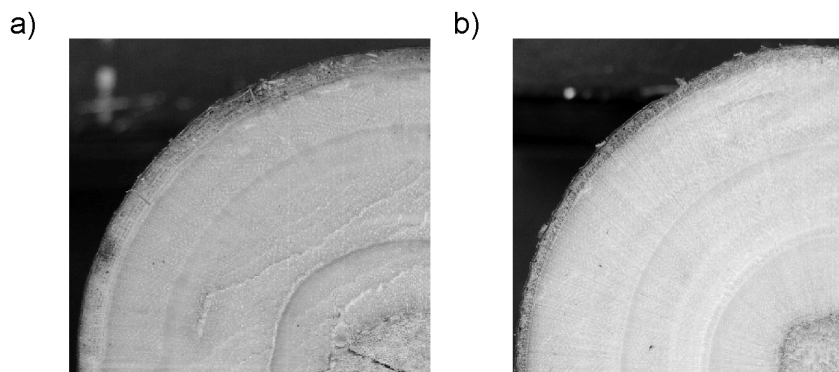
- powierzchnię drewna  $A_d$  [mm<sup>2</sup>] – jako różnicę  $A_{dr}$  i  $A_r$ ,
- powierzchnię kory i łyka  $A_k$  [mm<sup>2</sup>] – jako różnicę  $A_c$  i  $A_{dr}$ ,
- udział drewna  $U_d = \frac{A_d}{A_c} \cdot 100\%$  [%],
- udział rdzenia  $U_r = \frac{A_r}{A_c} \cdot 100\%$  [%],
- udział kory i łyka  $U_k = \frac{A_k}{A_c} \cdot 100\%$  [%].

## Wyniki badań

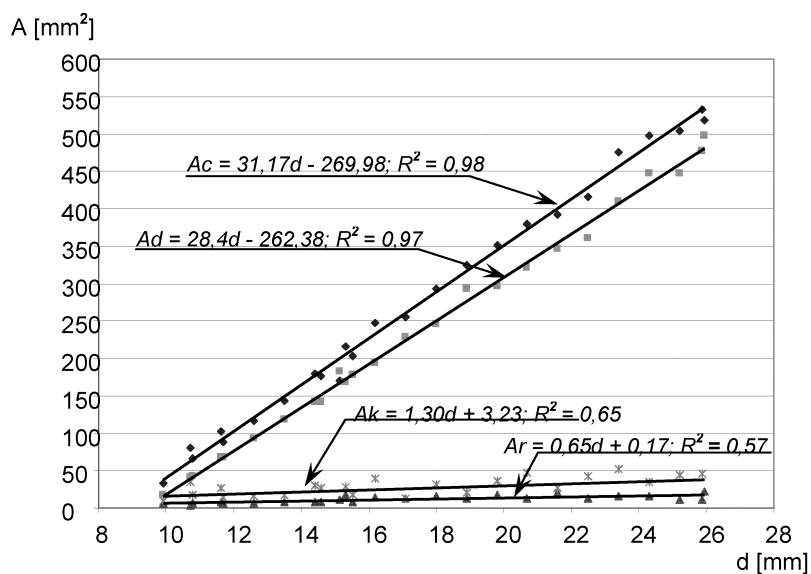
Zgodnie z przedstawioną metodyką określono powierzchnię głównych składowych tj.  $U_d$  - drewna,  $U_r$  - rdzenia oraz  $U_k$  - kory wraz łykiem. Badania wstępne wykazały, że ich udział silnie zależy od wilgotności. Porównując rysunek 3a i 3b można zauważyć wyraźną zmianę w grubości kory powodowaną różnicą wilgotności, a co za tym idzie ich udziały w całej powierzchni pędu też będą się zmieniać. Potwierdza to konieczność wykonania szczegółowych pomiarów mających na celu określenie zmian udziału składowych pędu w zależności od średnicy oraz wilgotności.

Pomiary przeprowadzono na pędach o zróżnicowanej średnicy (8–30 mm) i wilgotności (20–50%). Przykładowy wykres wyników analizy przekroju pędu przedstawia rys. 4. Powierzchnia drewna, rdzenia oraz kory wraz z łykiem zmienia się liniowo w zależności od średnicy. Wzrost powierzchni drewna jest największy (od 25 do ok. 470 mm<sup>2</sup>), w porównaniu z pozostałymi składowymi tj. rdzeniem i korą wraz z łykiem. Przyrost tych ostatnich zamyka się w granicach od 7 do 21 mm<sup>2</sup> dla rdzenia oraz od 22 do 43 mm<sup>2</sup> dla kory wraz z łykiem.

Z oznaczanych składowych pędu najistotniejszym składnikiem, w aspekcie wykorzystania energetycznego, jest drewno. Jego udział wzrasta od 65 do 90% wraz ze wzrostem średnicy pędu (10–30 mm). Tak więc, potwierdza to celowość uprawy wierzby w rotacji trzy- i czteroletniej. Pędy osiągają wówczas średnice u podstawy ponad 35 mm. Udział drewna jest również uzależniony (w mniejszym stopniu) od wilgotności.



Rys. 3. Przekrój poprzeczny pędu (d = 18mm) o wilgotności : a – 48 %, b – 20%  
 Fig. 3. Cross-section of sprout (d = 18mm) with humidity : a – 48 %, b – 20%



Rys. 4. Przebieg zmian pola powierzchni poszczególnych składowych przekroju pędu w zależności od średnicy (w = 25%)  
 Fig. 4. The progress of changes in the areas of individual sprout cross-section components depending on the diameter (w = 25%)

W związku z tym, podjęto próbę opisanie zmian udziału drewna w przekroju pędu w zależności od średnicy oraz wilgotności. Przeprowadzono estymację nieliniową metoda najmniejszych kwadratów.

Spośród testowanych modeli największe dopasowanie ( $R^2=92\%$ ) uzyskano dla funkcji postaci:

$$U_d = w^a \cdot d^b + c \quad (8)$$

gdzie:

- $U_d$  – udział drewna w przekroju poprzecznym [%],
- $w$  – wilgotność [%],
- $d$  – średnica pędu [mm],
- $a, b, c$  – stałe modelu

Wyniki estymacji (program Statistica v. 6.0) przedstawiono w tabeli 1.

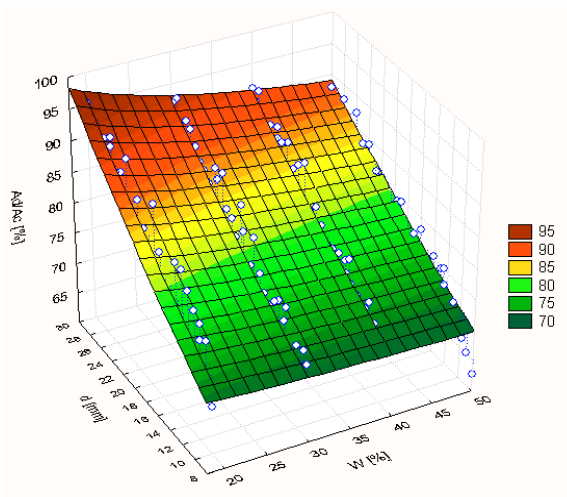
Tabela 1. Wyniki estymacji nieliniowej dla modelu  $U_d = w^a \cdot d^b + c$   
Table 1. Results of non-linear estimation for the  $U_d = w^a \cdot d^b + c$  model

Stała	Wartość	Błąd standardowy	Poziom p	Dolna granica ufności	Górna granica ufności	$R^2$
A	-0,32	0,051	0,000	-0,42	-0,22	0,92
B	1,30	0,046	0,000	1,20	1,39	
C	65,72	0,824	0,000	64,09	67,35	

Tak więc, udział drewna w przekroju poprzecznym pędu wierzby w zależności od jego średnicy (w przedziale 10–30 mm) i wilgotności (w przedziale 20–50%) można opisać wzorem:

$$U_d = w^{-0,326} \cdot d^{1,30} + 65,72 \text{ [%]}$$

Obrazem dopasowania uzyskanego modelu do danych pomiarowych jest wykres zamieszczony na rys. 5.



Rys. 5. Wpływ wilgotności i średnicy pędu na udział drewna w przekroju poprzecznym  
Fig. 5. The impact of sprout humidity and diameter on the share of wood in a cross-section

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwoliły określić wielkości poszczególnych składowych pędu w przekroju poprzecznym pędu. Najistotniejszą składową, w aspekcie wykorzystania energetycznego, jest drewno. Potwierdza to celowość uprawy wierzby w rotacji trzy- i czteroletniej gdzie średnice pędów przy podstawie przekraczają 35%. Udział drewna w przekroju jest również uzależniony (w mniejszym stopniu) od wilgotności.

Na podstawie przeprowadzonych badań określono model opisujący udział drewna w przekroju poprzecznym pędu. Ma on następującą postać:

$$U_d = w^{-0,326} \cdot d^{1,30} + 65,72 \text{ [%]}$$

gdzie:

- $U_d$  – udział drewna w przekroju poprzecznym [%],
- $w$  – wilgotność [%],
- $d$  – średnica pędu [mm].

Udział drewna w badanych pędach zmieniał się w przedziale 65–90 %.

Powyższe wyniki badań powinny wspomóc proces opisywania właściwości fizycznych w szczególności mechanicznych pędów wierzby.

## Bibliografia

- Fraczek J., Mudryk K.**, 2007. Właściwości geometryczne pędów wierzby *Salix viminalis* L. w aspekcie zbioru maszynowego. Rozdział 11 w „Właściwości Geometryczne, Mechaniczne i Strukturalne Surowców Roślinnych i Produktów Spożywczych” (pod red. B. Dobrzański jr i L. Mieszalski). Komitet Agrofizyki PAN, Wyd. FRNA. s.168-178.
- Kára J., Stražil Z., Hutla P.** 2003. Technologické systémy pro využití biopaliv z energetických plodin. Technological systems for biofuels utilisation from energy crops. Periodická zpráva za řešení projektu QD 1209 za rok 2003. Praha, VÚZT Z - 2427, s. 46.
- Kronbergs E., Mareks S.** 2004. Plant biomass conditioning for energy production. Proceedings of the 9th International Conference Ecological Energy Resources in Agriculture. Institute of Agricultural Engineering LUA. s. 88-94.
- Pastorek Z., Kára J., Jević P.** 2004. Biomasa obnovitelny zdroj energie. FCC PUBLIC. ISBN 8086534065.

*Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr N310 007 31/0846, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

## **SALIX VIMINALIS L. WILLOW SPROUT CROSS-SECTION AREA MEASUREMENT USING THE DIA**

**Abstract.** Anatomical structure of sprouts has considerable influence on their physical, and especially mechanical properties. The following elements may be distinguished in willow sprout cross-section: bark, phloem, wood and core. Physical properties of these elements differ, and thus their impact on technological processes, e.g. cutting, is different. For these reasons, the purpose of the work was to determine the share of sprout cross-section main components. The DIA (Digital Image Analysis) was used to analyse cross-section of sprouts. The cross-sections were made using Ergostar HM 200 microtome from Microm. Among other things, obtained research results allowed to determine the model describing the share of wood in sprout cross-section.

**Key words:** willow, biomass, anatomical structure

**Adres do korespondencji:**

Jarosław Frączek; e-mail: [fraczek@ar.krakow.pl](mailto:fraczek@ar.krakow.pl),  
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
ul. Balicka 120  
30-149 Kraków