

## WPLYW TEMPERATURY I WILGOTNOŚCI NA PRZEWODNOŚĆ CIEPLNĄ BURAKA ĆWIKŁOWEGO

*Elżbieta Skorupska*

Katedra Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Politechnika Białostocka

### Wstęp

W procesach wymiany ciepła ważną rolę odgrywają właściwości termofizyczne surowca [GINZBURG, GROMOV 1987; WIŚNIEWSKI 1988], do których należy przewodność cieplna (współczynnik przewodzenia ciepła). Badania wpływu temperatury [JANKOWSKI i in. 1976; SINAT-RADČENKO 1987] i wilgotności [JANKOWSKI i in. 1976, 1981; KOLAROV i in. 1989] na przewodność cieplną warzyw korzeniowych, szczególnie buraka cukrowego i marchwi, dotyczyły przeważnie wąskich zakresów pomiarowych.

Znajomość wartości właściwości termofizycznych ma istotne znaczenie w badaniach procesu suszenia, w przetwórstwie, jak też w doskonaleniu urządzeń technicznych i opracowywaniu nowych konstrukcji. Z tego względu badania właściwości termofizycznych, m.in. przewodności cieplnej, warzyw korzeniowych na przykładzie buraka ćwikłowego w szerokim zakresie temperatur i wilgotności są celowe.

### Materiał i metodyka badań

Badania dotyczyły określenia wpływu temperatury i wilgotności na współczynnik przewodzenia ciepła buraka ćwikłowego odmiany 'Okragły Ciemnoczerwony'. Gęstość nasypowa rozdrobnionego buraka ćwikłowego wahała się od 775,18 do 1150,06 kg·m<sup>-3</sup>.

Współczynnik przewodzenia ciepła wyznaczono metodą liniowego źródła ciepła, zwaną też metodą gorącego drutu („hot wire”) [DESTABLE 1949]. Metoda oparta jest na pomiarze ilości ciepła przechodzącego w jednostce czasu przez jednostkową powierzchnię próbki o określonej gęstości.

Źródło ciepła umieszczone jest centralnie w próbce o kształcie walca o nieograniczonym promieniu. Pomiar polega na obserwacji prędkości rozchodzenia się fali cieplnej od liniowego źródła ciepła po uprzednim ustabilizowaniu się warunków, tzn. w ustabilizowanych warunkach nieustalanej wymiany ciepła. Przewodność cieplną wyraża wzór:

$$\lambda = \frac{\dot{Q}}{4\pi l} \frac{1}{\frac{d(T_2 - T_1)}{d\left(\ln \frac{\tau_2}{\tau_1}\right)}} = \frac{\dot{Q}}{4\pi l} \frac{1}{k} \quad (\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})), \quad (1)$$

w którym  $k$  oznacza współczynnik kątowy prostej, otrzymywanej na drodze eksperymentalnej. Końcowa postać równania współczynnika przewodzenia ciepła jest następująca:

$$\lambda = \frac{W}{4\pi l} \frac{d\left(\ln \frac{\tau_2}{\tau_1}\right)}{d(T_2 - T_1)} = \frac{W}{4\pi l} \frac{d(\ln \tau_2 - \ln \tau_1)}{d(T_2 - T_1)} \quad (\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})). \quad (2)$$

Po wyrażeniu wzorem mocy źródła ciepła  $W = UI$  ( $W$ ) otrzyma się równanie:

$$\lambda = \frac{UI}{4\pi l} \frac{d(\ln \tau_2 - \ln \tau_1)}{d(T_2 - T_1)} \quad (\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})), \quad (3)$$

w którym:

- $\tau_1, \tau_2$  – czas początku i końca odcinka prostej krzywej pomiarowej (s),
- $T_1, T_2$  – temperatury początku i końca odcinka prostej krzywej pomiarowej odpowiadające czasom  $\tau_1, \tau_2$  (K),
- $l$  – długość źródła ciepła (m),
- $U$  – napięcie (V),
- $I$  – natężenie (A).

### Wyniki badań i ich analiza

Badania przewodności cieplnej buraka ćwikłowego prowadzono w zakresie temperatury 20–90°C i wilgotności 0,2–84% (zawartość wody 2,004·10<sup>-3</sup>–5,25 kg wody·kg<sup>-1</sup> s.s.).

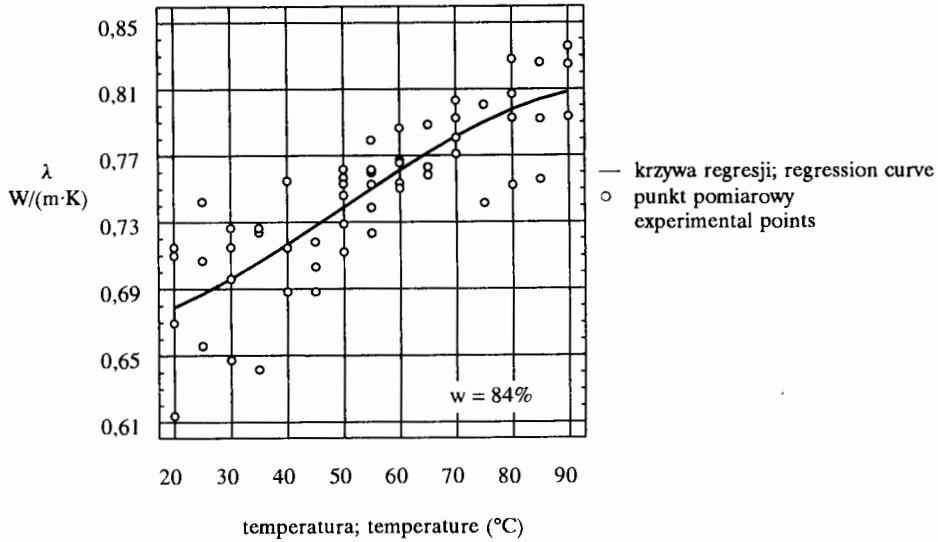
Błędy względne pomiaru współczynnika przewodzenia ciepła w 70% wahały się w granicy od 1% do 3%. Otrzymane wartości przewodności cieplnej można uznać za wiarygodne.

Przykładową zależność (krzywą regresji wielokrotnej z punktami doświadczalnymi) przewodności cieplnej buraka ćwikłowego o wilgotności 84% w funkcji temperatury przedstawiono na rysunku 1.

Wartości współczynnika przewodzenia ciepła buraka ćwikłowego o określo-

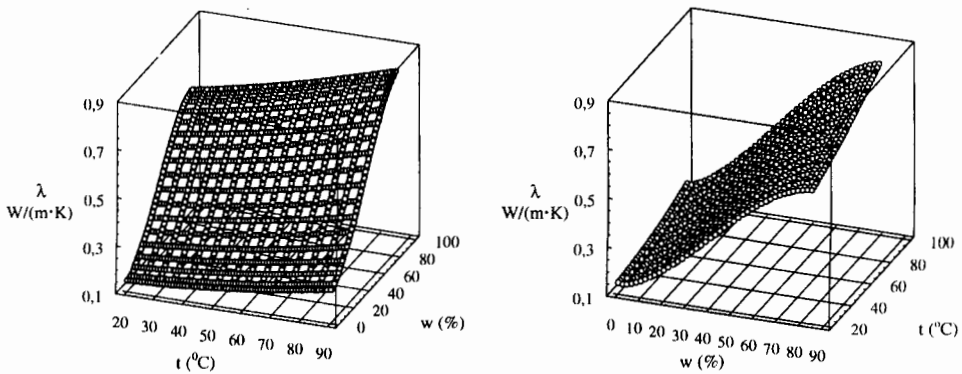
nej zawartości wody w funkcji temperatury (20–90°C) oraz wpływ zmienności wilgotności (0,2–84%) tego buraka ćwikłowego w określonej temperaturze na jego przewodność cieplną opisano funkcją wymierną (wielomianem trzeciego stopnia) i logarytmiczną.

Z wyniku badań można określić zakresy wilgotności od 0,2 do 6,5 i do 84%, w których to obserwuje się na ogół mniejszy wpływ temperatury i większy wpływ wilgotności buraka ćwikłowego na jego przewodność cieplną.



Rys. 1. Współczynnik przewodzenia ciepła ( $\lambda$ ) buraka ćwikłowego w funkcji temperatury dla wilgotności 84% -  $R^2 = 70,03\%$

Fig. 1. Thermal conductivity ( $\lambda$ ) of red beet as a function of temperature at moisture content 84% w.b. -  $R^2 = 70.03\%$



Rys. 2. Przewodność cieplna ( $\lambda$ ) buraka ćwikłowego w funkcji temperatury (t) i wilgotności (w) -  $R^2 = 98,94\%$

Fig. 2. Thermal conductivity ( $\lambda$ ) of red beet as a function of temperature (t) and moisture content (w) -  $R^2 = 98.94\%$

W zakresie niskiej wilgotności buraka ćwikłowego od 0,2 do 6,5% stwierdzono minimalny wpływ wilgotności i temperatury na współczynnik przewodzenia ciepła w całym zakresie temperatur. Wartości w tym zakresie wilgotności wynoszą od 0,142 W/(m·K) do 0,15 W/(m·K) w temperaturze 20°C i od 0,24 W/(m·K) do 0,25 W/(m·K) w temperaturze 90°C. Przy tak małym wpływie wilgotności, tj. 0,004 i 0,01 W/(m·K) w temperaturze 20 i 90°C, i temperatury, tj. 0,1 i 0,09 W/(m·K) przy wilgotności 0,2 i 6,5%, na współczynnik przewodzenia ciepła buraka ćwikłowego w zakresie wilgotności 0,2–6,5% można uznać, że współczynnik przewodzenia ciepła buraka ćwikłowego jest stały.

W przedziale wilgotności 6,5–84% wartości współczynnika przewodzenia ciepła wznoszą się od 0,15 W/(m·K) do 0,64 W/(m·K) w temperaturze 20°C i od 0,25 W/(m·K) do 0,85 W/(m·K) w temperaturze 90°C. Wpływ temperatury jest bardzo mały, tj. 0,1 i 0,24 w wilgotności 6,5 i 84%, natomiast wpływ wilgotności proporcjonalnie rosnący, tj. 0,49 i 0,6 W/(m·K) odpowiednio w temperaturze 20 i 90°C.

Wpływ temperatury i wilgotności na przewodność cieplną buraka ćwikłowego, wykorzystując regresję wielokrotną, opisano równaniem (4) i przedstawiono graficznie na rysunku 2.

$$\lambda = 0,134726 + 1,2 \cdot 10^{-5} t^2 + 2 \cdot 10^{-5} t \cdot w + 2,002 \cdot 10^{-3} w + 1,57 \cdot 10^{-4} w^2 - 1,325169 \cdot 10^{-6} w^3 - 4,338 \cdot 10^{-3} \ln w \quad (\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})) \quad R^2 + 98,94\%. \quad (4)$$

### Wnioski

1. Wyniki badań wpływu temperatury i wilgotności względnej na przewodność cieplną buraka ćwikłowego wykazały, że ww. parametry mają nierównomierny wpływ na jej wartość.
2. Określono dwa zakresy wilgotności: 0,2–6,5%, 6,5–84% dla całego zakresu temperatury 20–90°C, w których wpływ wilgotności na przebiegi przewodności cieplnej buraka ćwikłowego jest odmienny.
3. Na przewodność cieplną buraka ćwikłowego w przedziale wilgotności 0,2–6,5% ma bardzo mały wpływ zarówno temperatura, jak i wilgotność.
4. Wilgotność buraka ćwikłowego powyżej wartości 6,5% wpływa na przewodność cieplną w badanym zakresie temperatury zwiększając jej wartość.

### Podziękowanie

Serdeczne podziękowania składam Panu Prof. dr hab. Janowi Pabisowi za pomoc w realizacji niniejszej pracy.

### Literatura

- DESTABLE M.P. 1949. *Étude d'une méthode rapide de mesure des coefficients de conductibilité thermique*. Annales de L'Institut Technique du bâtiment et des Travaux Publics 86(11): 15 ss.
- GINZBURG A.S., GROMOV M.A. 1987. *Teplofizicheskie charakteristiki kartofela, ovošče i plodov*. VO „Agropromizdat”, Moskwa: 270 ss.

- JANKOWSKI T., DUBOWNIK J., JANKOWSKI S. 1976. *Thermal properties of sugar beets*. Annals of Poznań Agricultural University 89: 83–92.
- JANKOWSKI T., JANKOWSKI S., KOZIOŁ K. 1981. *Some thermal properties of root vegetables*. Acta Alimentaria Polonica 31(7), 3/4: 137–146.
- KOLAROV K.M., GARČEVA T.V., POPOV G.I. 1989. *Fizični karakteristiki na surovini polufabrikati i chranitelni produkti*. Zemizdat, Sofija: 210 ss.
- SINAT-RADČENKO D.E. 1987. *Teplofizičeskije svojstva tkani korneploda saharnoj svekly. Piščevaja promyšlennost'*. Respublikanskij Mežvuzovskij Sbornik Nayčnych Trudov 23, Kiev: 59–61.
- WIŚNIEWSKI S. 1988. *Wymiana ciepła*. PWN, Warszawa: 360 ss.

**Słowa kluczowe:** właściwości termofizyczne, przewodność cieplna, burak ćwikłowy

### Streszczenie

Badania wpływu temperatury i wilgotności na przewodność cieplną buraka ćwikłowego były prowadzone metodą liniowego źródła ciepła („gorącego drutu”) w zakresie temperatur od 20 do 90°C i wilgotności 0,2–84%. Wpływ temperatury i wilgotności na przewodność cieplną buraka ćwikłowego opisano równaniem empirycznym.

### INFLUENCE OF TEMPERATURE AND MOISTURE CONTENT ON THE THERMAL CONDUCTIVITY OF RED BEET

*Elżbieta Skorupska*

Chair of Food Industry Machines and Appliances,  
Białystok Technical University

**Key words:** thermal properties, thermal conductivity, red beet

### Summary

The influences of temperature within the range of 20–90°C and moisture content within the range of 0.2–84% w.b. on the thermal conductivity of red beet were investigated using the method of linear heat source („hot wire”). An empirical equation describing the influence of temperature and moisture content on the thermal conductivity of red beet was proposed.

Dr inż. Elżbieta **Skorupska**  
Katedra Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego  
Politechnika Białostocka  
ul. Wiejska 45 C  
15–351 BIAŁYSTOK  
e-mail: skorela@cksr.ac.bialystok.pl