

Właściwości cieplne materiałów biologicznych

TRiL 1 rok

Marek Markowski

Transport ciepła

Ruch ciepła – nauka o procesach transportu ciepła.

Ciepło - forma energii, która jest przekazywana jeśli istnieje różnica temperatur, od punktu o temperaturze wyższej do punktu o temperaturze niższej.

Mechanizmy ruchu ciepła – istnieją trzy odrębne mechanizmy ruchu ciepła:

przewodzenie – w ten sposób ciepło jest przekazywane w materialnych ośrodkach ciągłych na skutek drgań molekuł,

konwekcja – w ten sposób ciepło może być przekazywane w cieczech i gazach na skutek unoszenia cząsteczek przez istniejące pole prędkości,

promieniowanie – w ten sposób ciepło jest przekazywane w ośrodkach przezroczystych i próżni i polega na emisji i absorpcji promieniowania elektromagnetycznego w zakresie podczerwieni.

Mechanizmy te mogą występować łącznie w kombinacjach zależnych od tego na co pozwala dany ośrodek – np. w ciałach stałych: tylko przewodzenie, w próżni: tylko promieniowanie, w cieczech i gazach: przewodzenie, konwekcja i promieniowanie.

Dopływ – Odpływ = Akumulacja

Dopływ w [W= J/s] jest to natężenie dopływu ciepła do danej objętości.

Odpływ w [W=J/s] jest to natężenie odpływu ciepła z danej objętości.

Akumulacja jest to przyrost lub ubytek ilości ciepła w [J] w danej objętości na jednostkę czasu w [s]. Jeśli akumulacja jest dodatnia ciało nagrzewa się, jeśli ujemna chłodzi się.

Przypadek gdy akumulacja jest zerowa nosi nazwę „stanu ustalonego”, w przeciwnym razie mówimy o „stanie nieustalonym”.

Akumulację obliczymy ze wzoru:

$$Q = V\rho c_p \frac{dT}{d\tau}$$

V – objętość, m^3 ,

ρ – gęstość, kg/m^3

c_p - ciepło właściwe, J/kgK

τ – czas, s

Uwaga: w równaniu bilansu mogą wystąpić po lewej stronie dodatkowe człony np. człon źródłowy związany z produkcją ciepła w danej objętości np. w wyniku reakcji chemicznej lub ogrzewania mikrofalami, człon upustowy i inne.

Ciepło właściwe

Ciepło właściwe, c_p , jest liczbowo równe ilości ciepła, dQ , które trzeba dostarczyć do układu o masie jednostkowej, m , aby uzyskać przyrost jego temperatury o jednostkę, dT .

$$c_p = \frac{dQ}{m \cdot dT}$$

gdzie:

c_p - ciepło właściwe, (J/kg K)

m – jednostkowa masa substancji

dQ – jednostkowe ciepło dostarczane do układu

dT – przyrost temperatury o jednostkę

Ciepło właściwe – cd.

$$c_p = \sum_{i=1}^n x_i c_i$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1$$

c_p – ciepło właściwe, kJ/kg K
 x – udział masowy

Gdy znany jest skład materiału:

Indeksy:

Produkt zamrożony:

$$C_p = 1.6x_c + 2.0x_p + 2.0x_f + 1.1x_a + 4.2x_w$$

c – węglowodany
p – białko
f – tłuszcz
w – woda
a - popiół

Produkt niezamrożony:

$$C_p = 1.6x_c + 2.0x_p + 2.0x_f + 1.1x_a + 2.1x_w$$

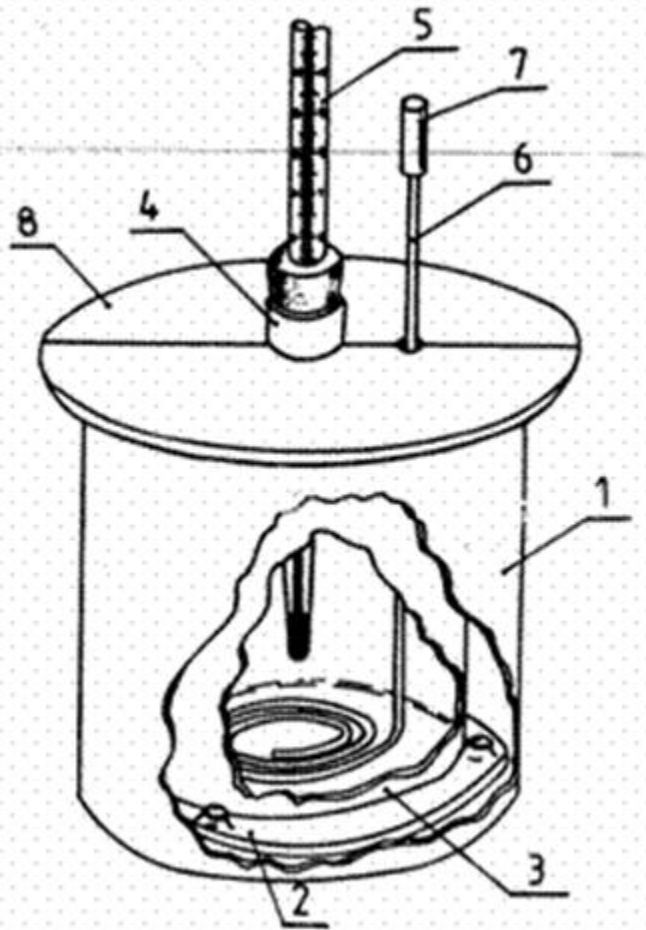
Wartości i zakresy zmienności ciepła właściwego suchej substancji niektórych produktów rolniczych.

Produkt rolniczy	Ciepło właściwe $c_{s,}$ J/(kg · K)
Ziarno pszenicy	1454
Ziarno pszenicy Caribo	1276
Ziarno pszenicy	1287–1299
Ziarno pszenicy	1185–1260
Ziarno pszenicy	1097
Ziarno żyta Tero	1272
Ziarno owsa Tiger	1282
Ziarno owsa	993–1278
Ziarno owsa	1277
Ziarno jęczmienia Carina	1245
Ziarno rzepaku	1553–1569
Ziarno fasoli	1293
Ziarno kukurydzy	1247–1369
Ziarno kukurydzy	2035
Ziarno kukurydzy	1534
Ziarno ryżu	1637
Ziarno ryżu niełuskanego	1109
Ziarno ryżu łuskanego	1197
Ziarno sorga	1397
Lucerna	1172
Tytoń	1402
Ziemniaki	1570

Wzory do obliczania ciepła właściwego niektórych produktów rolniczych

Nazwa produktu	Wzór i zakres stosowania c , $J/(kg \cdot K)$
Pszenica	$c = 1260 + 36 w$ $5 < w < 35\%$
	$c = 1097 + 40 u$ $0 < u < 0,4 \text{ kg/kg}$
	$c = 1184 + 30 w$ $0 < w < 13,6\%$
	$c = 1452 + 30 w$ $1 < w < 32\%$
Kukurydza	$c = 1470 + 36 w$ $1 < w < 30\%$
	$c = 1370 + 27 w$ $0 < w < 60\%$
Owies	$c = 1277 + 32 w$ $10 < w < 17\%$
	$c = 992 + 50 w$ $12 < w < 18\%$
Soja	$c = 1637 + 19 w$ $0 < w < 24\%$
Ryż niefuskany	$c = 1109 + 45 w$ $10 < w < 17\%$
Ryż fuskany	$c = 1197 + 38 w$ $10 < w < 17\%$
Sorgo	$c = 1397 + 32 w$ $0 < w < 30\%$
Lucerna	$c = 1172 + 33 w$ $0 < w < 28\%$
Tytoń	$c = 1402 + 24 u$ $0,2 < u < 0,9 \text{ kg/kg}$
Ziemniaki	$c = 1570 + 30 w$ $0 < w < 72\%$

Kalorymetr laboratoryjny



$$Q1 + Q2 = Q3 + Q4$$

Q1 - ciepło oddane przez kalorymetr

Q2 - ciepło oddane przez wodę zawartą w kalorymetrze

Q3 - ciepło pobrane przez topiący się lód

Q4 - ciepło pobrane przez wodę powstałą z lodu

$$c_l = \frac{(m_k \cdot c_k + m_w \cdot c_w) \cdot (t_1 - t_2)}{m_l} - c_w \cdot t_2$$

mk - masa kalorymetru

mw - masa wody zawartej w kalorymetrze

c1 - ciepło topnienia lodu

cw - ciepło właściwe wody (4186 J/(kg·°C))

t1 - temperatura początkowa kalorymetru i wody

t2 - temperatura końcowa

ml - masa lodu

Różnicowy kalorymetr skaningowy (DSC)



Przewodzenie ciepła

Równanie konstytutywne przewodzenia ciepła – równanie Fouriera

$$q = -\lambda \frac{dT}{dz}$$

Przewodność cieplna: strumień ciepła wywołany jednostkowym gradientem temperatury, W/(mK)

Zależność przewodności cieplnej od temperatury:

$$\lambda = \lambda_0 (1 + bT)$$

λ_0 - wartość przewodności cieplnej dla $T=0$

b – stała dla danego materiału

Rzędy wielkości przewodności cieplnej dla różnych materiałów:

	$\lambda, \text{ W/(m K)}$
Gazy	od 0,006 do 0,6 np. powietrze – 0,06 (dla 893 K) argon – 0,04 (dla 893 K) para wodna – 0,08 (dla 893 K)
Ciecze	od 0,07 do 0,7 np. woda – 0,66 (dla 353 K) alk. etylowy – 0,20 (dla 353 K)
Ciała stałe	od 0,015 do 150 np. metale – od 10 do 150 izolatory – od 0,015 do 1,5 (azbest od 0,105 do 0,248)

Równanie przewodnictwa ciepła w ciałach stałych:

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = c_p \rho \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

lub

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c_p \rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

Przy czym współczynnik dyfuzji ciepła

$$a = \frac{\lambda}{c_p \rho}$$

Równanie transportu ciepła w ośrodku ciągłym (ciało stałe, ciecz, gaz)

$$\rho c_p \frac{DT}{D\tau} = \text{div}(\lambda \nabla T) + \sum_{i=1}^N \{ [j_{mi} - m_i] h_i + T_i \beta_i \frac{Dp_i}{D\tau} + \tau_i \nabla v_i \} + \psi_{ot}$$

gdzie

$$\frac{DT}{D\tau} = \frac{\partial T}{\partial \tau} + v_x \frac{dT}{dx} + v_y \frac{dT}{dy} + v_z \frac{dT}{dz}$$

WSPÓŁCZYNNIK PRZEWODZENIA CIEPŁA KOMPOZYTÓW

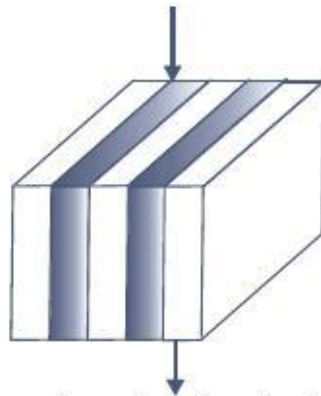
MODEL SZEREGOWY



Przewodzenie w kierunku prostopadłym do warstw
(model szeregowy):

$$\lambda = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 \cdot V_2 + \lambda_2 \cdot V_1}$$

MODEL RÓWNOLEGŁY



Przewodzenie w kierunku równoległym do warstw
(model równoległy):

$$\lambda = \lambda_1 \cdot V_1 + \lambda_2 \cdot V_2$$

gdzie:

V_1, V_2 – udziały objętościowe składników kompozytu,

$$\lambda = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 \cdot V_2 + \lambda_2 \cdot V_1}$$

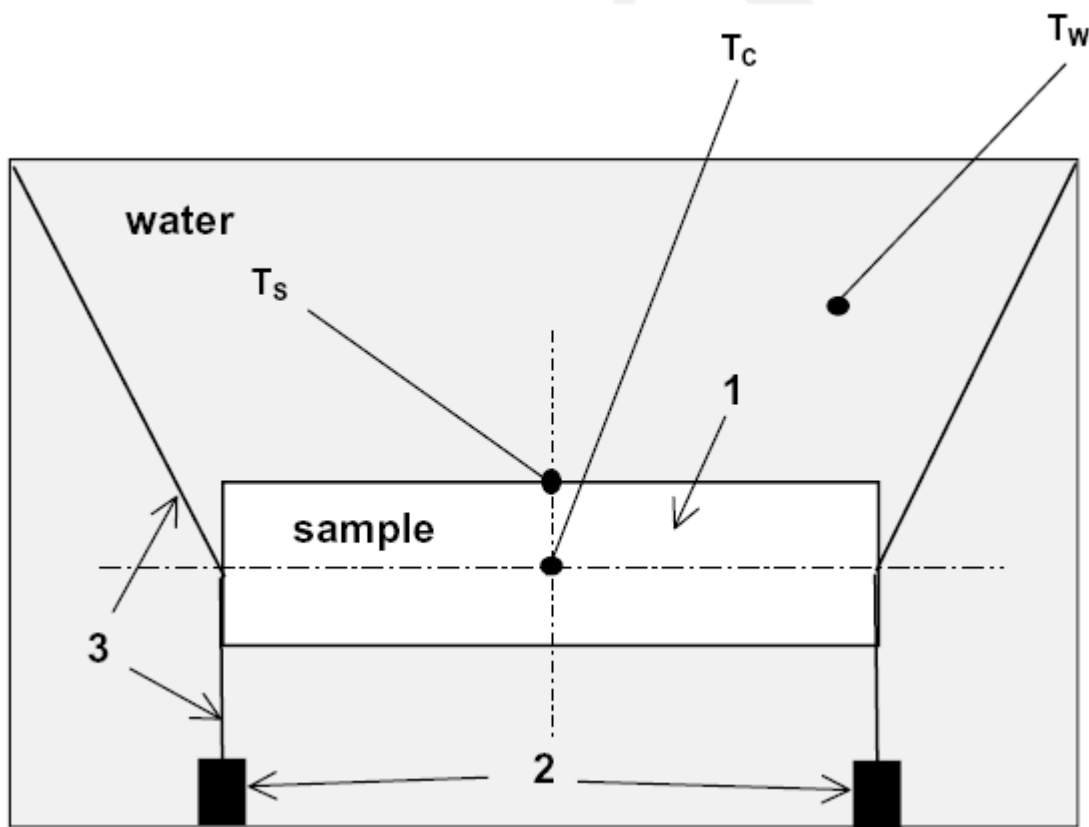
$$\lambda = \lambda_1 \cdot V_1 + \lambda_2 \cdot V_2$$

Wzory służące do obliczania przewodności cieplnej nasion

Nazwa nasion	Wzór i zakres stosowania
Pszenica	$\lambda = 0,1398 + 0,0014 w$ $t = 20^{\circ}\text{C}; 4,4 \leq w \leq 22,5\%$
	$\lambda = 0,1440 + 0,0009 w$ $t = 5^{\circ}\text{C}; 4,4 \leq w \leq 22,5\%$
	$\lambda = 0,1365 + 0,0014 w$ $t = 1^{\circ}\text{C}; 4,4 \leq w \leq 22,5\%$
	$\lambda = 0,1327 + 0,0015 w$ $t = -6^{\circ}\text{C}; 0,4 \leq w \leq 22,5\%$
	$\lambda = 0,1407 + 0,0009 w$ $t = -17^{\circ}\text{C}; 4,4 \leq w \leq 22,5\%$
	$\lambda = 0,1436 + 0,0009 w$ $t = -27^{\circ}\text{C}; 4,4 \leq w \leq 22,5\%$
	$\lambda = 0,1170 + 0,0011 w$ $0,7 \leq w \leq 20,3\%$
Ryż nieluskany	$\lambda = 0,0865 + 0,0013 w$ $9,9 \leq w \leq 19,3\%$
Sorgo	$\lambda = 0,0976 + 0,0015 w$ $0 \leq w \leq 25\%$
Kukurydza	$\lambda = 0,1409 + 0,0011 w$ $0,9 \leq w \leq 30,2\%$
	$\lambda = 0,1580 + 0,42 u$ $0 \leq u \leq 0,3 \text{ kg/kg}$
	$\lambda = 0,1326 + 0,1547 u - 0,1454 u^2$ $0 \leq u \leq 0,6 \text{ kg/kg}$
Bobik	$\lambda = 0,1400 + 0,037 u$ $0 \leq u \leq 0,3 \text{ kg/kg}$
Fasola	$\lambda = 0,1360 + 0,036 u$ $0 \leq u \leq 0,3 \text{ kg/kg}$
Groch	$\lambda = 0,1290 + 0,034 u$ $0 \leq u \leq 0,3 \text{ kg/kg}$
Łubin	$\lambda = 0,1230 + 0,033 u$ $0 \leq u \leq 0,30 \text{ kg/kg}$

Metoda wyznaczania przewodności cieplnej

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$



$$\frac{T_s - T}{T_s - T_0} = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(-1)^{m+1}}{\beta_m} \cos\left(\frac{\beta_m z}{L}\right) \frac{2J_0\left(\frac{\beta_n r}{R}\right)}{\beta_n J_1(\beta_n)} \exp\left[-\left(\frac{\beta_n^2}{R^2} + \frac{\beta_m^2}{L^2}\right)\alpha t\right]$$

dla $n = m = 1$ oraz $z = r = 0$ jest

$$\beta_m = \Pi/2, \quad \beta_n = 2.405, \quad J_1(2.405) = 0.519, \quad J_0(0) = 1.0$$

zatem jest

$$\ln|T_s - T| = \ln(2.0396|T_s - T_0|) - \left[\left(\frac{2.405}{R}\right)^2 + \left(\frac{2\Pi}{L}\right)^2 \right] \alpha t$$

lub

$$\ln|T_s - T_c| = A - Bt \quad \text{zatem} \quad \alpha = B \left[\left(\frac{2.405}{R}\right)^2 + \left(\frac{2\Pi}{L}\right)^2 \right]^{-1}$$

Table 3
Thermal diffusivities determined for the cooking and cooling of cooked sausages

Formula	Thermal diffusivity (α) $\times 10^7$, $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$		
	Method A (cooking)	Method B (cooking)	Method B (cooling)
A	4.35	1.52	1.58
B	4.20	1.48	1.53
C	3.52	1.44	1.74
D	4.13	1.53	1.75
E	4.40	1.39	1.41
F	3.64	1.35	1.42

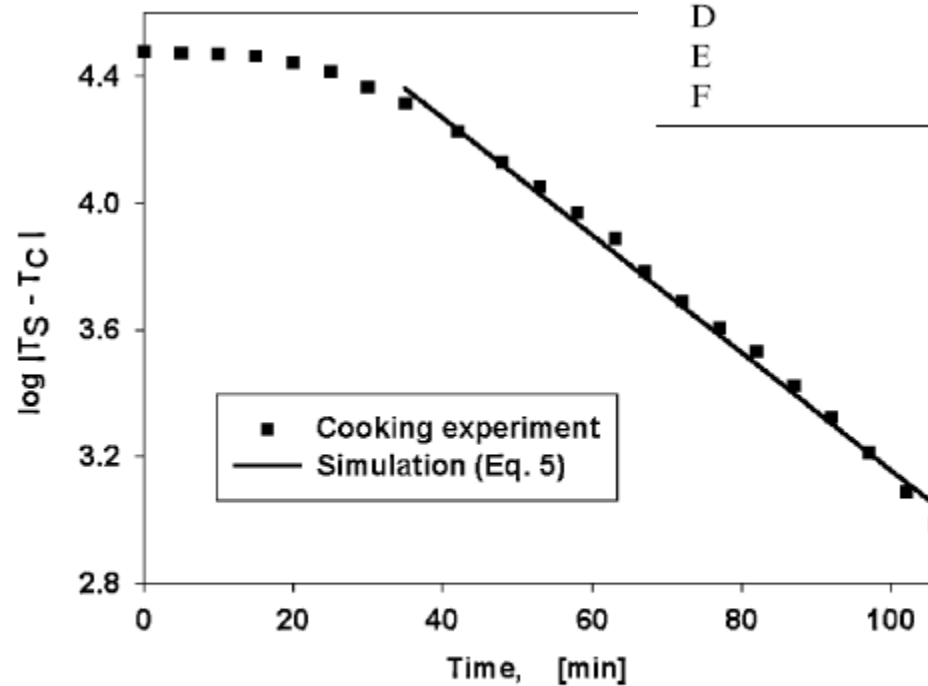


Fig. 4. Experimental and simulated, by method (A), time evolutions of temperature at the central point of a sample during cooking of cooked sausages.

$$\alpha = \frac{\lambda}{c_p \rho}$$

Koniec



Dziękuję
za
uwagę