

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE
MECHANIZAČNÁ FAKULTA
KATEDRA FYZIKY

**MERANIE A MODELOVANIE TRANSPORTNÝCH JAVOV
V BIOLOGICKÝCH POĽNOHOSPODÁRSKYCH MATERIÁLOCH**

Autoreferát dizertačnej práce
na získanie vedecko-akademickej hodnosti philosophiae doctor
vo vednom odbore: 41-15-9
Technika a mechanizácia poľnohospodárskej a lesníckej výroby

RNDr. Vlasta Vozárová

Nitra 2006

Dizertačná práca bola vypracovaná v externej forme doktorandského štúdia na Katedre fyziky Mechanizačnej fakulty Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre.

Doktorand: RNDr. Vlasta Vozárová

Vedúci dizertačnej práce: doc. RNDr. Dušan Brozman
Katedra fyziky, MF SPU v Nitre

Oponenti: Dr.h.c. prof. RNDr. Marián Babiak, PhD.
Katedra náuky o dreve, Drevárska fakulta
Technická univerzita vo Zvolene

Prof. Ing. Robert Černý, DrSc.
Katedra mechaniky, Stavebná fakulta
České vysoké učení technické v Prahe

Prof. Ing. Ladislav Nozdrovický, PhD.
Katedra strojov a výrobných systémov
Mechanizačná fakulta
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Autoreferát bol rozoslaný dňa 6. októbra 2006.

Stanovisko k dizertácii vypracovala Katedra fyziky MF SPU v Nitre.

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa 7. novembra 2006 o 9.⁰⁰ h pred komisiou pre obhajobu dizertačných prác vedného odboru 41-15-9 Technika a mechanizácia poľnohospodárskej a lesníckej výroby na Mechanizačnej fakulte SPU v Nitre.

Miesto konania: Katedra fyziky
Mechanizačná fakulta
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra

Miestnosť: zasadačka Dekanátu MF

S dizertačnou prácou sa možno oboznámiť na dekanáte Mechanizačnej fakulty SPU v Nitre.

Predseda komisie pre obhajoby vo vednom odbore 41-15-9
Prof. Ing. Jozef Hrubec, CSc.,
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

ABSTRACT

The thesis deals with the measurement and the modelling of transport phenomena in biological agricultural materials. Experimental work is focused on the heat transport in the granular biological material, on the measurement of thermophysical properties and on the study of factors affecting the heat transport in the biological material.

Considering the goals of the thesis, original results can be summarised as follows:

- measurement of thermophysical properties – the thermal conductivity, the thermal diffusivity, the specific heat of the different biological plant materials (grain or seed sets),
- determination of the moisture content of the biological materials,
- measurement of thermophysical properties as a function of the temperature, the moisture content and the structure of the material, represented by the bulk density,
- regression model of obtained dependencies of thermophysical properties,
- physical interpretation from the point of view of transport phenomena, assessment of the results and analysis of the possible applications of the obtained knowledge in the practice.

To measure transport properties the following experimental methods and apparatuses were used:

- hot-wire method and experimental apparatus for the thermal conductivity measuring and ISOMET for the thermal conductivity, the thermal diffusivity and the volume heat capacity measurements
- differential scanning calorimetry and DSC calorimeter for measurement of the specific heat
- thermogravimetry and TGA analyser for determination of the moisture content.

Achieved results are presented in the form of tables (Tab. 1 and Tab. 3) and graphs (Fig. 3-10) and regression equations of dependencies of the thermophysical properties on the moisture, temperature and bulk density are introduced.

Contribution of the present work for the agricultural science, practice and recommendations for next progress in the study of transport phenomena in the biological agricultural material are presented.

ABSTRAKT

Predkladaná práca sa zaoberá problematikou merania a modelovania transportných javov v biologických poľnohospodárskych materiáloch. Experimentálna časť práce je zameraná transport tepla v granulovaných biologických materiáloch, na meranie termofyzikálnych veličín charakterizujúcich transport tepla a na skúmanie faktorov ovplyvňujúcich transport tepla v biologických materiáloch.

V súlade s cieľmi dizertačnej práce získané výsledky možno zhrnúť:

- boli namerané termofyzikálne vlastnosti – koeficient tepelnej vodivosti, koeficient teplotnej vodivosti, hmotnostná tepelná kapacita pre rozličné biologické materiály (súbor zrn, resp. semien),

- bola stanovená relatívna vlhkosť materiálov,
- boli zistené závislosti termofyzikálnych veličín od teploty, vlhkosti a štruktúry materiálu reprezentovanej sypnou hmotnosťou,
- bol vytvorený regresný model získaných závislostí transportných veličín,
- v práci je uvedená fyzikálna interpretácia výsledkov z hľadiska transportných javov a možnosti využitia získaných výsledkov v praxi.

Na meranie transportných vlastností boli využité nasledovné experimentálne metódy a zariadenia:

- metóda horúceho drôtu a experimentálna aparatura na meranie koeficienta tepelnej vodivosti a ISOMET na meranie koeficienta tepelnej vodivosti, koeficienta teplotnej vodivosti a objemovej tepelnej kapacity,
- diferenčná kompenzačná kalorimetria a DSC kalorimeter na merania hmotnostnej tepelnej kapacity,
- termogravimetria a TGA analyzátor pre určenie vlhkosti.

Získané výsledky sú prezentované vo forme tabuliek (tab. 1 a tab. 3) a grafov (obr. 3-10), uvedené sú regresné rovnice získaných závislostí termofyzikálnych veličín od vlhkosti, teploty a sypnej hmotnosti.

V predkladanej práci je formulovaný prínos získaných výsledkov pre poľnohospodársku vedu a prax a odporúčania pre ďalší rozvoj vedy v oblasti štúdia transportných javov v biologických poľnohospodárskych materiáloch

ÚVOD

Zavádzanie nových technológií v poľnohospodárskej výrobe vyžaduje rozvoj mechanizácie a automatizácie a tým aj uplatňovanie najnovších poznatkov vedy a techniky do tohto procesu. Využitie sofistikovanej techniky v podmienkach automatizovanej poľnohospodárskej výroby je podmienené poznaním nielen fyzikálnych vlastností materiálov ale aj opisom fyzikálnych javov, resp. procesov v nich prebiehajúcich. Medzi významné fyzikálne javy, ktoré sa uplatňujú v celom technologickom procese patrí transport tepla a vlhkosti v materiáloch.

Poľnohospodárske biologické materiály sú nielen z hľadiska uplatňovaných transportných mechanizmov, veľmi zložené. Podrobne popísať transportné javy v biologických materiáloch predpokladá znalosť parametrov, ktoré zahŕňajú vplyv materiálu na príslušný transport. Medzi tieto parametre označované tiež ako transportné veličiny možno zaradiť koeficient tepelnej vodivosti, difúzny koeficient, dynamickú viskozitu, mernú elektrickú vodivosť a ďalšie. Nevyhnutným predpokladom pre optimalizáciu tepelných technologických postupov je poznanie nielen termofyzikálnych veličín charakterizujúcich transport tepla v materiáloch, ale aj faktorov ovplyvňujúcich transport tepla v materiáloch.

POUŽITÉ SYMBOLY A OZNAČENIA

a – koeficient teplotnej vodivosti ($m^2 \cdot s^{-1}$)

A	– konštanta
B	– konštanta
c_p	– hmotnostná tepelná kapacita pri konštantnom tlaku ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)
C	– konštanta
H	– entalpia (J)
k	– koeficient tepelnej vodivosti ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
K	– smernica
m	– hmotnosť (kg)
P_p	– príkon (W)
q_l	– výkon tepelného zdroja jednotkovej dĺžky ($W.m^{-1}$)
r	– polomer (m)
t	– čas (s)
T, T_0	– teplota (K)
V	– objem (m^3)
β_T	– teplotný koeficient ($K.s^{-1}$)
γ	– Eulerova konštanta
ρ_s	– sypná hmotnosť ($kg.m^{-3}$)

CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

Dizertačná práca sa zaoberá štúdiom transportu tepla a vlhkosti v biologických materiáloch. Experimentálna časť práce je sústredená na problematiku transportu tepla v biologických materiáloch. Základom jeho štúdia je meranie termofyzikálnych veličín biologických materiálov (napr. súboru zŕn, resp. iných poľnohospodárskych plodín), meranie vlhkosti a analýza vplyvu vlhkosti, teploty a štruktúry materiálu na transport tepla v biologických materiáloch.

Ciele dizertačnej práce sú:

- experimentálne stanovenie základných termofyzikálnych charakteristík – koeficienta tepelnej vodivosti, koeficienta teplotnej vodivosti a hmotnostnej tepelnej kapacity rozličných poľnohospodárskych produktov rastlinného pôvodu (napr. súboru zŕn a semien rozličného botanického druhu),
- stanovenie obsahu vody v biologických materiáloch,
- experimentálne stanovenie závislosti termofyzikálnych veličín od teploty, vlhkosti a štruktúry materiálu reprezentovanej sypnou hmotnosťou,
- vytvorenie regresného modelu získaných závislostí transportných veličín
- fyzikálna interpretácia získaných výsledkov z hľadiska problematiky transportných javov a možnosti ich využitia v technologickom procese.

MATERIÁL, METÓDY A SÚHRN EXPERIMENTÁLNYCH VÝSLEDKOV

Experimentálna časť dizertačnej práce pozostáva z merania termofyzikálnych veličín biologických materiálov – súboru zŕn, resp. semien rozličného botanického druhu a skúmania ich závislostí od vlhkosti, teploty a štruktúry materiálu. Výber vzoriek

biologických materiálov bol určený v súlade s riešením úloh v rámci projektov VEGA (projekt č. 1/9079/02 a projekt č. 1/0609/03). Objem (resp. hmotnosť) a štruktúra vzoriek zodpovedá požiadavkám použitej metódy merania. Sypná hmotnosť a relatívna vlhkosť jednotlivých vzoriek je uvedená v tabuľkách (tab. 1 a tab. 2.).

Na základe podrobného štúdia problematiky transportu tepla sa pre účely merania termofyzikálnych vlastností biologických materiálov ukázali ako najvhodnejšie nasledovné metódy merania:

- metóda horúceho drôtu – na meranie koeficienta tepelnej vodivosti, koeficienta teplotnej vodivosti a objemovej tepelnej kapacity a na skúmanie závislosti koeficienta tepelnej vodivosti od teploty,
- diferenčná kompenzačná kalorimetria – na meranie hmotnostnej tepelnej kapacity a na skúmanie závislosti hmotnostnej tepelnej kapacity od teploty,
- termogravimetrická analýza – na určenie relatívnej vlhkosti materiálov a na skúmanie procesu dehydratácie.

Získané experimentálne výsledky sú v práci uvádzané v členení na základe použitých metód merania.

MERANIE KOEFICIENTA TEPELNEJ VODIVOSTI METÓDOU HORÚCEHO DRÔTU

Princíp metódy

Metóda horúceho drôtu je nestacionárna meracia metóda založená na meraní teplotného nárastu v definovanej vzdialenosti od líniového zdroja tepelnej energie, ktorý pôsobí konštantným výkonom na jednotku dĺžky v objeme vzorky z meraného materiálu (Krempaský, 1969). Matematický model predpokladá ideálny, nekonečne dlhý líniový zdroj tepla (horúci drôt) obklopený nekonečným, homogénnym a izotropným prostredím s konštantnou počiatočnou teplotou. Ak v čase $t = 0$ začne pôsobiť tepelný zdroj s konštantným výkonom na jednotku dĺžky q_1 , v materiáli vznikne v okolí zdroja radiálny tok tepla. Ak sú tepelné veličiny nezávislé od teploty v rozsahu teplotných zmien spôsobených účinkom tepelného zdroja, potom pre nárast teploty $\Delta T(r,t)$ vo vzdialenosti r od zdroja tepla platí (Davis, 1984, Vozár, 1996)

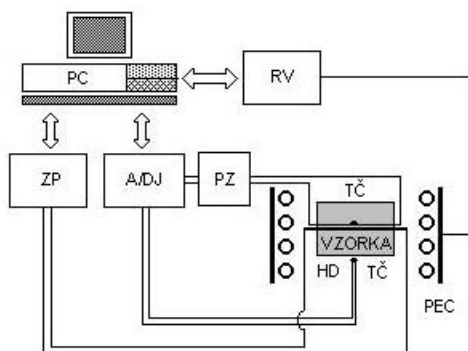
$$\Delta T(r,t) = \frac{q_1}{4\pi k} \ln \frac{4at}{r^2 C}, \quad (1)$$

pričom k ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) je koeficient tepelnej vodivosti, a ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) je koeficient teplotnej vodivosti a $C = \exp(\gamma)$, γ je Eulerova konštanta. Tepelná vodivosť k sa na základe rovnice (1) určuje zo smernice K lineárnej závislosti prírastku teploty ΔT od logaritmu času $\ln t$ podľa rovnice

$$k = \frac{q_1}{4\pi K}. \quad (2)$$

Meracie zariadenie

Použitá experimentálna aparátúra na meranie tepelnej vodivosti metódou horúceho drôtu (obr.1) je podrobne popísaná v práci (Vozár, 1996). Zariadenie umožňuje meranie tepelnej vodivosti pevných a sypkých materiálov na vzduchu pri atmosférickom tlaku, resp. v inertnej atmosfére v teplotnom intervale od 20 °C do 1000 °C.



Obr. 1 Bloková schéma meracieho zariadenia

PC – počítač, RV – riadenie výkonu, ZP – zdroj prúdu, A/DJ – analógovo-digitálna jednotka, PZ - predzosilňovač -, TČ - termočlánok, HD – horúci drôt

Riadenie a vyhodnotenie merania je zabezpečené počítačom. Programové vybavenie (program PROBE) je napísané v programovacom jazyku Borland C++ (Vozár, 1996).

Príprava vzoriek

Na meranie boli použité vzorky súboru zŕn alebo semien rozličného botanického druhu, resp. odrody. Základné údaje o vzorkách sú uvedené v tab. 1.

Zrná a semená boli získané počas štandardného mechanizovaného zberu, neboli špeciálne triedené. Získané vzorky boli uskladnené v sklenených uzavretých nádobách pri teplote 5 °C. Pred meraním boli vzorky umiestnené v laboratóriu (pri izbovej teplote) minimálne 6 hodín z dôvodu teplotnej stabilizácie vzorky.

Postup merania a experimentálne podmienky merania

Vzorka – súbor zŕn alebo semien sa nachádza v oceľovom kontajneri s objemom 1 dm³, v prostriedku ktorého je umiestnená meracia sonda.

Po inicializácii podprogramu merania a zapnutí meracích prístrojov a zdroja napätia sa spustí elektrické vyhrievanie drôtu, ktorý je spolu s termočlánkom umiestnený v meracej sonde. V určitých časových intervaloch (0,1 s až 1 s) sa načíta napätie z termočlánku a nameraný bod sa zaznamená do grafu (závislosť nárastu napätia, resp. zodpovedajúcej teploty od času). Takto získaných bodov pri jednom meraní je 1200. Po nameraní zadaného počtu bodov sa preruší vyhrievanie drôtu a na monitore počítača sa zobrazí závislosť prírastku teploty ako funkcia logaritmu času.

Pri opakovaných meraniach je potrebné zahriať vzorku teplotne stabilizovať na požadovanú teplotu, čas teplotnej stabilizácie je udaný na začiatku merania (najčastejšie 3600 – 7200 s). Po uplynutí tohto času program zopakuje opísaný postup, kým sa nevykoná zadaný počet meraní.

Merania koeficienta tepelnej vodivosti pre rozličné vzorky súboru zŕn a semien boli vykonané pri izbových teplotách, resp. pri zvolených teplotách v teplotnom rozsahu 20 °C – 100 °C a pri atmosférickom tlaku. Merania pre jednu vzorku boli opakované 15 krát a reprodukovateľnosť podmienok merania bola dosiahnutá teplotnou stabilizáciou 1,5 – 2 hodiny medzi jednotlivými meraniami.

Experimentálne výsledky

Koeficient tepelnej vodivosti je vypočítaný ako stredná hodnota z 15 meraní. Zhrnutie získaných experimentálnych výsledkov pre jednotlivé vzorky s uvedenou strednou hodnotou koeficienta tepelnej vodivosti, štandardnou odchýlkou a relatívnou štandardnou odchýlkou pre každú sériu merania je uvedené v prehľadnej tabuľke č. 1.

Tab. 1 Zhrnutie experimentálnych výsledkov meraní koeficienta tepelnej vodivosti metódou horúceho drôtu

Číslo vzorky	Druh, odroda	Relatívna vlhkosť (%)	Sypná hmotnosť (kg.m ⁻³)	Koeficient tepelnej vodivosti (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Relatívna štandardná neistota (%)
1.	Jačmeň sladovnícky, Expres	7,46	658	0,1084±0,0049 0,1098±0,0029	4,49 2,65
2.	Jačmeň sladovnícky, Jubilant	7,59	663	0,1100±0,0056 0,1116±0,0057	5,08 5,14
3.	Pšenica potravinárska, zmes	11,49	805	0,1306±0,0075 0,1317±0,0035	5,74 2,69
4.	Pšenica potravinárska, zmes	13,12	791	0,1364±0,0032 0,13525±0,00801	2,38 5,92
5.	Repka olejná, zmes	6,75	631	0,1081±0,0011 0,10995±0,00603	1,03 5,48

MERANIE HMOTNOSTNEJ TEPELNEJ KAPACITY DSC METÓDOU

Princíp metódy

Princíp metódy DSC spočíva v meraní rozdielu príkonov potrebných na ohrev vzorky a referenčnej látky v závislosti od teploty alebo času (Blažek, 1974, Haines, 1995).

Stanovenie hmotnostnej tepelnej kapacity c_p (J.kg⁻¹.K⁻¹) pri konštantnom tlaku DSC metódou vychádza z definičného vzťahu

$$c_p = \frac{1}{m} \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p, \quad (3)$$

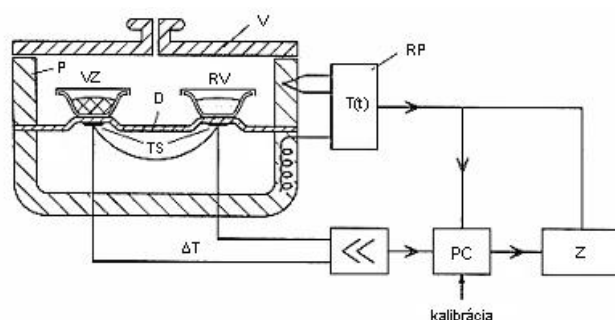
kde H (J) je entalpia, m (kg) je hmotnosť vzorky a T (K) je teplota. Definičnú rovnicu pre hmotnostnú tepelnú kapacitu pri konštantnom tlaku možno prepísať do tvaru

$$c_p = \frac{1}{m} \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p = \frac{1}{m} \left(\frac{\frac{\partial H}{\partial t}}{\frac{\partial T}{\partial t}} \right)_p = \frac{1}{m} \frac{\Delta P_p}{\beta_T}, \quad (4)$$

kde ΔP_p (W) je rozdiel príkonov potrebných na ohrev vzorky a referenčnej látky a β_T ($K \cdot s^{-1}$) je teplotný koeficient. Meraný signál u DSC kalorimetrov s tepelným tokom je teplotný rozdiel medzi vzorkou a referenčnou látkou, ktorou obvykle býva prázdna miska. Na základe rozdielu teplôt sa určuje ΔP_p .

Meracie zariadenie

Na meranie hmotnostnej tepelnej kapacity bolo použité meracie zariadenie DSC 822^e (METTLER TOLEDO) s diskovým meracím systémom.



Obr. 2 DSC kalorimeter s tepelným tokom

VZ – vzorka, RV – referenčná vzorka, P – strieborná pec (obvod), V – veko, D – disk, TS – teplotné snímače, RP – riadenie teploty pece, PC – počítač, Z – zapisovač

Príprava vzorky

Na meranie boli použité vzorky súboru zŕn kukurice *Zea mays* odrody LG 2306 (Hontianske Nemce, 1999) a súboru semien repky olejnej *Brassica napus* (zmes odrôd, Hontianske Nemce, 2003).

Zrná kukurice boli získané strojným olúpaním, neboli špeciálne triedené. Uskladnené boli v sklenených tesne uzavretých nádobách pri teplote 5 °C. Pred meraním boli zrná podrvené a navažované do hliníkových štandardných misiek. Relatívna vlhkosť vzorky bola 15,5 % a sypná hmotnosť 730 $kg \cdot m^{-3}$.

Na meranie boli použité vzorky semien repky olejnej s relatívnou vlhkosťou 3,6 % a sypnou hmotnosťou 638 $kg \cdot m^{-3}$ (vzorka DSC 1) a vzorky semien repky olejnej s relatívnou vlhkosťou 7,8 % a sypnou hmotnosťou 635 $kg \cdot m^{-3}$ (vzorka DSC 2). Semená repky boli navažované do hliníkových štandardných misiek celé, nepodrvené.

Postup merania a experimentálne podmienky merania

Vzorky boli umiestnené do hliníkových štandardných misiek, navážky vzoriek boli do 10 mg. Pri meraniach bol ako očistný plyn použitý dusík. Merania boli uskutočnené v teplotnom rozsahu –50 °C až +40 °C. Rýchlosť ohrevu vzoriek bola 5 $K \cdot min^{-1}$.

Po zadaní vstupných údajov a definovaní podmienok experimentu (teplotný rozsah merania, rýchlosť ohrevu, resp. chladenia) bol experiment riadený a vyhodnocovaný

prostredníctvom PC s príslušným softvérovým vybavením Star[®] Software (METTLER TOLEDO).

Experimentálne výsledky

Príklad DSC krivky, ktorá zobrazuje tepelný tok v závislosti od teploty je na obr. 3. Na meranie bola použitá vzorka semien repky olejnej s relatívnou vlhkosťou 3,6 % a sypnou hmotnosťou 638 kg.m⁻³ (vzorka DSC 1). Na krivke sú zreteľné píky zodpovedajúce procesom dehydratácie a horenia. Endotermický pík pri teplote 126 °C zodpovedá odstraňovaniu vody a iných nestabilných zložiek z materiálu. Exotermický pík pri 396 °C zodpovedá procesu horenia čo potvrdzuje aj TGA krivka pre danú vzorku na obr. 4.

Získané závislosti hodnôt hmotnostnej tepelnej kapacity pri konštantnom tlaku pre vzorky kukurice a repky olejnej (vzorka DSC 2) merané DSC metódou ako funkcie teploty sú prezentované na obr. 9 a obr. 10. Hodnota hmotnostnej tepelnej kapacity pri izbovej teplote (20 °C) pre vzorku kukurice je 1,93 kJ.kg⁻¹.K⁻¹ a pre vzorku repky olejnej je 2,41 kJ.kg⁻¹.K⁻¹.

URČENIE KOEFICIENTA TEPLOTNEJ VODIVOSTI

Hodnotu koeficienta teplotnej vodivosti je možné určiť pomocou vzťahu

$$a = \frac{k}{c_p \rho_s}, \quad (5)$$

pričom hodnoty koeficienta tepelnej vodivosti k (W.m⁻¹.K⁻¹), hmotnostnej tepelnej kapacity c_p (J.kg⁻¹.K⁻¹) a objemovej (sypnej) hmotnosti ρ_s (kg.m⁻³) sa určujú meraním. Merania koeficienta tepelnej vodivosti boli z pohľadu skúmaného biologického materiálu makroskopické a uskutočňovali sa na súboroch zŕn a merania hmotnostnej tepelnej kapacity mali mikroskopický charakter, nakoľko boli realizované na vzorkách malého objemu, vytvorených z fragmentov zŕn biologického materiálu. Pre určenie koeficienta teplotnej vodivosti sa uprednostnil postup nezávislého merania pred využitím vzťahu (5). Merania koeficienta teplotnej vodivosti boli realizované opakovane na zariadení ISOMET 104 (APPLIED PRECISION).

Meracie zariadenie

ISOMET je mikroprocesorom riadený ručný prístroj na meranie koeficienta tepelnej vodivosti, objemovej tepelnej kapacity, koeficienta teplotnej vodivosti a teploty kompaktných, sypkých a kvapalných materiálov. Princíp merania termofyzikálnych veličín pomocou ISOMETU zodpovedá metóde horúceho drôtu.

Príprava vzorky a postup merania

Na meranie boli použité vzorky súboru zŕn a semien rozličného botanického druhu, s rozličnou relatívnou vlhkosťou a sypnou hmotnosťou odoberané v rozličných obdobiach počas skladovania (tab. 2).

Zrná a semená boli nasypané do odmerného valca bez utrasenia alebo utláčania. Na meranie bola použitá ihlová sonda s meracím rozsahom 0,015 – 0,2 W.m⁻¹.K⁻¹.

Experimentálne výsledky

Výsledky merania koeficienta tepelnej vodivosti, koeficienta teplotnej vodivosti a objemovej tepelnej kapacity sú uvedené v tab. 3.

Tab. 2 Charakteristika vzoriek, oblasť a dátum odberu vzorky

Vzorka číslo	Druh, odroda	Relatívna vlhkosť (% , kg.kg ⁻¹)	Sypná hmotnosť (kg.m ⁻³)	Oblasť, dátum odberu vzorky
1	Pšenica potravinárska, zmes	11,7	814	Hontianske Nemce 23. 8. 2004
2	Pšenica potravinárska, zmes	12,8	821	Hontianske Nemce 28. 10. 2004
3	Pšenica potravinárska, zmes	11,5	819	Hontianske Nemce 24. 1. 2005
4	Pšenica potravinárska, zmes	11,6	844	Hontianske Nemce 13. 5. 2005
5	Pšenica potravinárska, Hana	12,2	848	Hontianske Nemce 2. 9. 2005
6	Pšenica potravinárska, zmes	11,5	804	Rybany 10. 8. 2004
7	Pšenica potravinárska, zmes	11,7	842	Rybany 28. 10. 2004
8	Pšenica potravinárska, Hana	11,4	827	Rybany 24. 1. 2005
9	Pšenica potravinárska, zmes	11,7	861	Rybany 13. 5. 2005
10	Pšenica potravinárska, zmes	11,8	824	Rybany 23. 8. 2005
11	Pšenica potravinárska, zmes	13,0	841	Rybany 2. 9. 2005
12	Repka olejná, zmes	3,9	697	Hontianske Nemce 23. 8. 2004
13	Repka olejná, zmes	3,8	683	Hontianske Nemce 13. 5. 2005
14	Repka olejná, zmes	3,7	642	Hontianske Nemce 12. 9. 2005
15	Slničnica ročná, zmes	5,9	411	Hontianske Nemce 28. 10. 2004

MERANIE VLHKOSTI TERMOGRAVIMETRICKOU METÓDOU

Meracie zariadenie

Termogravimetrický analyzátor (TGA) meria hmotnosť vzorky podrobenej teplotnému programu. Na meranie bolo použité meracie zariadenie TGA/SDTA 851° (METTLER TOLEDO).

Príprava vzorky

Na meranie bola použitá vzorka semien repky olejnej *Brassica napus* (zmes odrôd) s relatívnou vlhkosťou 3,6 % a sypnou hmotnosťou 638 kg.m⁻³ (vzorka DSC 1, Hontianske Nemce, 2003), semená repky boli navažované do hliníkových štandardných misiek celé, nepodrvené.

Postup merania a experimentálne podmienky merania

Počiatočná hmotnosť vzorky bola 23,708 mg. Merania boli uskutočnené v teplotnom rozsahu 25 °C až 500 °C. Rýchlosť ohrevu vzorky bola 5 K.min⁻¹. Pri meraniach bol ako očistný plyn použitý dusík.

Po zadaní vstupných údajov a definovaní podmienok experimentu (teplotný rozsah merania, rýchlosť ohrevu) bol experiment riadený a vyhodnocovaný prostredníctvom PC s príslušným softvérovým vybavením Star^e Software (METTLER TOLEDO).

Tab. 3 Zhrnutie experimentálnych výsledkov – prehľadná tabuľka

Č. vz.	Druh	Koeficient tepelnej vodivosti (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Objemová tepelná kapacita (10 ⁶ J.m ⁻³ .K ⁻¹)	Koeficient teplotnej vodivosti (10 ⁻⁶ m ² .s ⁻¹)	Teplota (°C)
1	Pšenica potrav.	0,0898±0,0026	0,258±0,022	0,3498±0,0203	21,18±0,34
2	Pšenica potrav.	0,0934±0,0031	0,2986±0,0205	0,3131±0,0108	20,25±0,49
3	Pšenica potrav.	0,0948±0,0039	0,299±0,027	0,317±0,017	20,43±0,37
4	Pšenica potrav.	0,0914±0,0023	0,279±0,021	0,328±0,018	20,17±0,39
5	Pšenica potrav.	0,0942±0,0013	0,2882±0,0099	0,3272±0,0097	20,40±0,52
6	Pšenica potrav.	0,0954±0,0036	0,293±0,024	0,327±0,018	20,91±0,34
7	Pšenica potrav.	0,093±0,0026	0,285±0,020	0,328±0,014	21,23±0,16
8	Pšenica potrav.	0,0924±0,0028	0,277±0,031	0,335±0,025	20,59±0,38
9	Pšenica potrav.	0,0916±0,0011	0,277±0,014	0,330±0,014	20,22±0,49
10	Pšenica potrav.	0,093±0,0031	0,287±0,033	0,0,324±0,029	20,33±0,31
11	Pšenica potrav.	0,0938±0,0033	0,29±0,012	0,334±0,015	21,08±0,18
12	Repka olejná	0,094±0,0022	0,397±0,019	0,2352±0,0071	21,24±0,25
13	Repka olejná	0,0946±0,0018	0,420±0,014	0,2310±0,0081	21,18±0,12
14	Repka olejná	0,0876±0,0023	0,372±0,018	0,2330±0,0072	21,18±0,19
15	Slnečnica roč.	0,0646±0,0026	0,1554±0,0077	0,430±0,015	21,53±0,19

Experimentálne výsledky

Výsledky merania hmotnosti vzorky v závislosti od jej teploty, získané neizometrickou gravimetrickou metódou sú zobrazené na obr. 4. Kvantitatívnu analýzu výsledkov merania hmotnosti vzorky v závislosti od jej teploty vzorky boli zistené nasledovné údaje:

- počiatočná hmotnosť vlhkej vzorky 23,708 mg
- hmotnosť sušiny 22,946 mg
- hmotnosť popola 5,8485 mg

Relatívna vlhkosť vzorky vypočítaná z týchto údajov je 3,2 %.

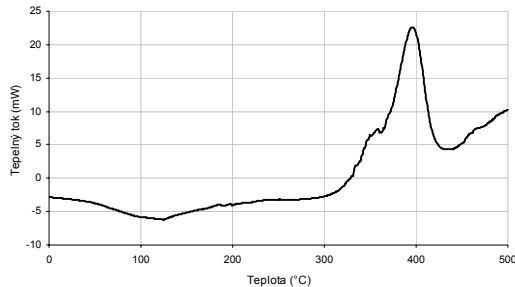
MERANIE VLHKOSTI VODIVOSTNOU METÓDOU

Meracie zariadenie

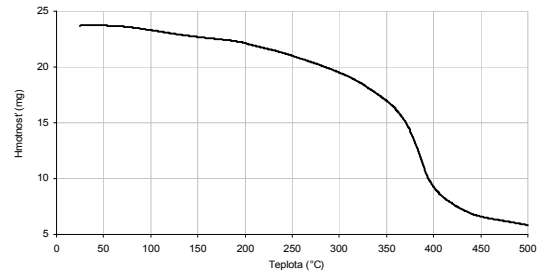
Pre účely riešenia úloh dizertačnej práce bol použitý vodivostný vlhkomer HE 50 (PFEUFFER). Špeciálna meracia komora umožňuje meranie najrôznejších produktov, zariadenie má zabudovanú automatickú korekciu teploty.

Experimentálne výsledky

Experimentálne výsledky jednotlivých meraní relatívnej vlhkosti vzoriek sú uvedené v súhrnnom prehľade charakteristík jednotlivých vzoriek (tab. 1 a 2).



Obr. 3 DSC – krivka pre vzorku repky olejnej, vzorka DSC 1



Obr. 4 TGA krivka pre vzorku repky olejnej, vzorka DSC 1

MERANIE ZÁVISLOSTÍ TRANSPORTNÝCH VELIČÍN

Závislosť koeficienta tepelnej vodivosti od obsahu vody

Merania koeficienta tepelnej vodivosti súboru zŕn boli vykonané v závislosti od vlhkosti pre vzorky kukurice *Zea mays* odrody EVELINA FAO 420 s rozličnou fyziologickou, resp. simulovanou vlhkosťou.

Meranie koeficienta tepelnej vodivosti súboru zŕn bolo realizované metódou horúceho drôtu. Merania boli vykonané pri izbovej teplote, na vzduchu pri atmosférickom tlaku. Vlhkosť zŕn bola určovaná elektronickým vlhkomerom HE 50 (PFEUFFER), pričom kontrolné merania vlhkosti boli robené gravimetricky podľa príslušnej normy (STN ISO, 1993). Vzorky s požadovanou simulovanou vlhkosťou boli pripravené navlhčovaním suchej vzorky pridaním presného množstva destilovanej vody (Hlaváčová, 1997, Hlaváčová – Rataj, 1999). Namerané hodnoty koeficienta tepelnej vodivosti súboru zŕn kukurice v závislosti od fyziologickej, resp. simulovanej vlhkosti sú na obr. 5.

Namerané hodnoty koeficienta tepelnej vodivosti v závislosti od vlhkosti v prípade fyziologickej vlhkosti i v prípade simulovanej vlhkosti možno matematicky popísať lineárnou regresnou rovnicou

- pre vzorku s fyziologickou vlhkosťou v tvare
 $y = 0,0018x + 0,1042$, pričom hodnota koeficienta determinácie je $R^2 = 0,9676$,
- pre vzorku so simulovanou vlhkosťou v tvare
 $y = 0,0023x + 0,0986$, pričom koeficient determinácie má hodnotu $R^2 = 0,9703$.

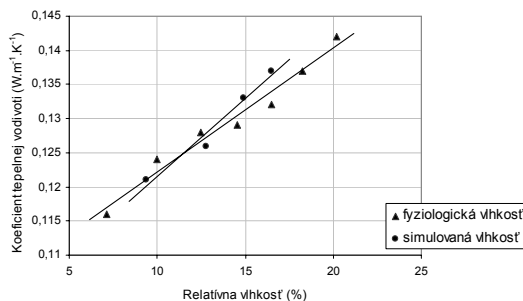
Vzhľadom na hodnoty koeficienta determinácie, ktoré v oboch prípadoch vypovedajú o veľmi vysokej tesnosti (Rataj, 2003), možno závislosť koeficienta tepelnej vodivosti od vlhkosti v prípade fyziologickej vlhkosti i v prípade simulovanej vlhkosti považovať za lineárne rastúcu.

Závislosť koeficienta tepelnej vodivosti od teploty

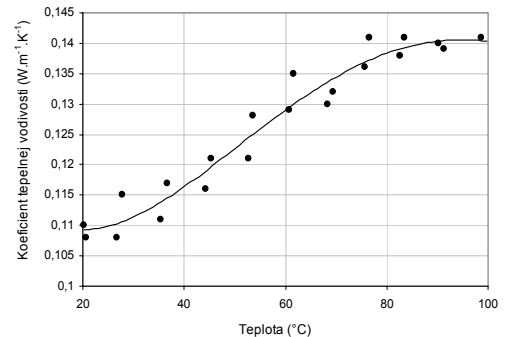
Meranie koeficienta tepelnej vodivosti v závislosti od teploty boli uskutočnené na vzorke súboru zŕn kukurice *Zea mays* odrody LG 2306 s relatívnou vlhkosťou 15,5 % a sypnou hmotnosťou $730 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a na vzorke súboru semien repky olejnej *Brassica napus* s relatívnou vlhkosťou 7,78 % a sypnou hmotnosťou $635 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (vzorka HW 1) a na vzorke s relatívnou vlhkosťou 6,75 % a sypnou hmotnosťou $631 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (vzorka HW 2). Merania koeficienta tepelnej vodivosti súboru zŕn, resp. semien boli realizované použitím plne automatizovanej experimentálnej aparatúry na meranie tepelnej vodivosti metódou horúceho drôtu. Závislosť koeficienta tepelnej vodivosti od teploty bola zisťovaná v teplotnom rozsahu od $20 \text{ }^\circ\text{C}$ do $100 \text{ }^\circ\text{C}$, na vzduchu pri atmosférickom tlaku. Vlhkosť zŕn bola určovaná elektronickým vlhkomerom HE 50 (PFEUFFER), kontrolné meranie vlhkosti bolo realizované gravimetricky podľa normy STN ISO (1993). Namerané hodnoty koeficienta tepelnej vodivosti v závislosti od teploty pre vzorku kukurice (celé zrná) sú na obr. 6 a získané teplotné závislosti koeficienta tepelnej vodivosti pre semená repky olejnej (vzorka HW 1 a vzorka HW 2) sú na obr. 7 a 8. Teplotnú závislosť koeficienta tepelnej vodivosti pre vzorku kukurice (obr. 6) možno popísať regresnou rovnicou – polynomickeou funkciou 4. rádu v tvare:

$$y = 10^{-9}x^4 - 4 \cdot 10^{-7}x^3 + 5 \cdot 10^{-5}x^2 - 0,0013x + 0,1211$$

; pričom koeficient determinácie má hodnotu $R^2 = 0,953$, čo vypovedá o veľmi vysokej tesnosti.



Obr. 5 Závislosť tepelnej vodivosti súboru zŕn kukurice od fyziologickej, resp. simulovanej vlhkosti



Obr. 6 Závislosť koeficienta tepelnej vodivosti súboru zŕn kukurice od teploty

Nameranú závislosť koeficienta tepelnej vodivosti repky olejnej (vzorka HW 1) na obr. 7 možno popísať regresnou rovnicou – polynomickeou funkciou 6. rádu v tvare:

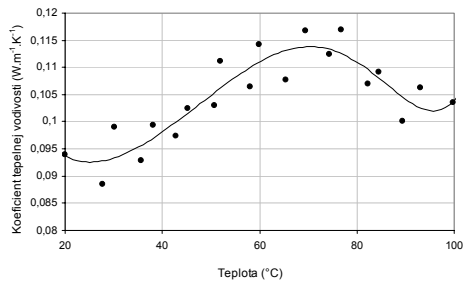
$$y = 3 \cdot 10^{-12}x^6 - 8 \cdot 10^{-10}x^5 + 10^{-7}x^4 - 7 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,0003x^2 - 0,0062x + 0,1456$$

pričom koeficient determinácie má hodnotu $R^2 = 0,8135$, čo vypovedá o veľmi vysokej tesnosti.

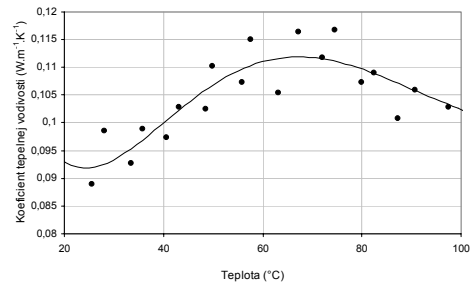
Teplotnú závislosť koeficienta tepelnej vodivosti pre vzorku repky olejnej (vzorka HW 2) možno tiež popísať regresnou rovnicou – polynomickeou funkciou 6. rádu v tvare: $y = 2 \cdot 10^{-13}x^6 - 2 \cdot 10^{-10}x^5 + 4 \cdot 10^{-8}x^4 - 5 \cdot 10^{-6}x^3 + 0,0003x^2 - 0,0074x + 0,1602$; koeficient determinácie má hodnotu $R^2 = 0,7177$, čo vypovedá o veľkej tesnosti.

Závislosť koeficienta tepelnej vodivosti od objemovej hmotnosti

Merania koeficienta tepelnej vodivosti súboru zŕn v závislosti od objemovej hmotnosti boli vykonané pre vzorky kukuričných fragmentov zŕn s rozličným priemerom častíc. Na merania boli použité vzorky kukurice odrody LG 2306 s relatívnou vlhkosťou 14 %. Rozličné hodnoty sypnej hmotnosti boli dosiahnuté pomletím zŕn na fragmenty s rozličným priemerom častíc.



Obr. 7 Závislosť koeficienta tepelnej vodivosti súboru semien repky olejnej od teploty, vzorka HW 1



Obr. 8 Závislosť koeficienta tepelnej vodivosti súboru semien repky olejnej od teploty, vzorka HW 2

Tab. 4 Namerané hodnoty koeficienta tepelnej vodivosti pre rozličné sypné hmotnosti vzorky kukurice

Priemer častíc (mm)	< 0,5	0,5 – 1	1 – 2
Sypná hmotnosť (kg.m⁻³)	561,4	567,4	574, 9
Koeficient tepelnej vodivosti (W.m⁻¹.K⁻¹)	0,09461	0,09677	0,10286

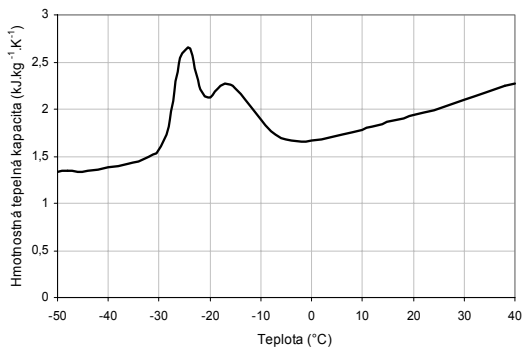
Závislosť hmotnostnej tepelnej kapacity od teploty

Meranie hmotnostnej tepelnej kapacity v závislosti od teploty boli uskutočnené na vzorke súboru zŕn kukurice *Zea mays* odrody LG 2306 s relatívnou vlhkosťou 15,5 % a sypnou hmotnosťou 730 kg.m⁻³ a na vzorke súboru semien repky olejnej *Brassica napus* s relatívnou vlhkosťou 7,8 % a sypnou hmotnosťou 635 kg.m⁻³ (vzorka DSC 2).

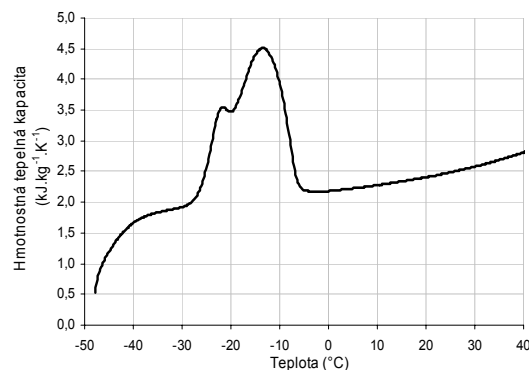
Meranie hmotnostnej tepelnej kapacity pri konštantnom tlaku bolo realizované metódou DSC využitím meracieho zariadenia DSC 822° (METTLER TOLEDO). Zrná kukurice boli pred meraním podrvené, semená repky olejnej neboli drvené. Vzorky boli navažované do hliníkových štandardných misiek, navážky vzoriek boli do 10 mg. Pri meraniach bol ako očistný plyn použitý dusík. Merania boli uskutočnené v teplotnom rozsahu -50 °C až +40 °C. Rýchlosť ohrevu oboch vzoriek bola 5 K.min⁻¹. Namerané hodnoty hmotnostnej tepelnej kapacity zŕn kukurice pri konštantnom tlaku v závislosti od teploty sú na obr. 9. Závislosť hmotnostnej tepelnej kapacity semien repky olejnej od teploty je na obr. 10.

Hodnota hmotnostnej tepelnej kapacity pri teplote 20 °C pre vzorku kukurice je 1,93 kJ.kg⁻¹.K⁻¹ a pre vzorku repky olejnej je 2,41 kJ.kg⁻¹.K⁻¹. Získané teplotné závislosti hmotnostnej tepelnej kapacity majú podobný charakter, v oboch prípadoch sú

na krivkách výrazné píky, ktoré zodpovedajú endotermickým efektom, v teplotnom intervale 0 °C – 40 °C je závislosť v oboch prípadoch lineárna.



Obr. 9 Závislosť hmotnostnej tepelnej kapacity súboru zŕn kukurice od teploty



Obr. 10 Závislosť hmotnostnej tepelnej kapacity súboru semien repky olejnej od teploty

NÁVRH NA VYUŽITIE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKOV V PRAXI A ODPORÚČANIA PRE ĎALŠÍ ROZVOJ VEDY

Vedecko-výskumný prínos problematiky merania a modelovania transportných javov v biologických poľnohospodárskych materiáloch riešenej v rámci predloženej dizertačnej práce možno zhrnúť nasledovne:

- bol vypracovaný prehľad súčasných poznatkov z oblasti teórie transportných javov a merania veličín transportu tepla so zameraním na biologické materiály,
- boli overené možnosti použiteľnosti metód merania – metódy horúceho drôtu, diferenčnej kompenzačnej kalorimetrie, termogravimetrickej analýzy a meracích zariadení pre granulované biologické materiály
- experimentálne boli získané hodnoty fyzikálnych vlastností biologických materiálov – súboru zŕn a semien rozličného botanického druhu a ich závislostí od vlhkosti, resp. prevládajúcej formy väzby vody na materiál, od teploty a štruktúry materiálu reprezentovanej sypnou hmotnosťou,
- bol vytvorený regresný model získaných závislostí transportných veličín
- fyzikálnou interpretáciou výsledkov boli získané informácie o priebehu fyzikálnych procesov – transportných javov v študovaných materiáloch a naznačené možnosti využitia získaných poznatkov v technologických procesoch (napr. pri sušení).

V agropotravinárskych technologických procesoch dochádza k uplatňovaniu transportu hmoty a energie v rôznych fázach technologického procesu. Intenzita uplatňovaných transportných javov závisí od vlastností materiálov. Znalosť týchto vlastností je nutná pre vedecké zdôvodnenie a výber vhodných metód spracovania poľnohospodárskych produktov, pre kvalifikovanú voľbu optimálnych režimov jednotlivých technologických procesov a tiež pre vývoj moderných automatických zariadení.

Príkladom využitia získaných poznatkov v teórii sušenia je napr. zisťovanie rýchlosti sušenia a skúmanie vplyvov, ktorými na rýchlosť sušenia pôsobia parametre vysušaného materiálu a sušiaceho prostredia. Získané výsledky môžu byť aplikované

pri spracovaní všeobecných metód výpočtu hospodárnej doby sušenia a tiež materiálovej a energetickej bilancie procesu sušenia.

Nevyhnutným predpokladom pre uplatnenie uvedených možností je poznanie fyzikálnych (najmä transportných) vlastností sušeného materiálu a fyzikálnych procesov (vrátane transportných), ktoré počas sušenia v materiáli prebiehajú.

Predkladaná práca predstavuje príspevok k riešeniu problematiky sušenia poľnohospodárskych produktov najmä z hľadiska charakterizovania vnútorných podmienok sušenia.

Problematika skúmania transportných javov v biologických materiáloch je nesmierne rozsiahla a jej komplexné spracovanie predstavuje dlhodobý výskumný zámer. Pre ďalší rozvoj vedy v tejto oblasti sa nám v súčasnosti javí ako užitočné:

- zisťovanie hodnôt fyzikálnych vlastností rôznych biologických materiálov a ich závislostí nielen od vlhkosti, teploty, ale tiež od spôsobu technologického spracovania,
- skúmanie vplyvov vonkajších faktorov (napr. obalov) na transport tepla a vlhkosti v spracovávaných materiáloch,
- skúmanie ďalších fyzikálnych procesov, napr. fázových zmien, ktoré prebiehajú v materiáloch počas technologického spracovania a majú priamy vplyv na kvalitu produkcie,
- zisťovanie korelácie medzi fyzikálnymi vlastnosťami a parametrami kvality potravinových zdrojov a produktov,
- zisťovanie korelácie medzi fyzikálnymi vlastnosťami a energetickými parametrami v jednotlivých fázach technologického postupu pri sušení, skladovaní alebo pri tepelnom spracovaní.

ZÁVER

V predkladanej dizertačnej práci je venovaná pozornosť analýze transportu tepla v biologických poľnohospodárskych materiáloch a študuje sa vplyv materiálu na príslušný transport reprezentovaný najmä veličinami: koeficientom tepelnej vodivosti a koeficientom teplotnej vodivosti. V práci je predložená analýza vplyvu rozličných faktorov, najmä teploty a vlhkosti, na hodnoty uvedených transportných veličín. Základným prínosom práce je získanie databázy termofyzikálnych vlastností rôznych biologických materiálov a ich aplikácia pri riešení problematiky transportných javov v týchto materiáloch.

Problematika dizertačnej práce bola zahrnutá a riešená v rámci dvoch vedecko-výskumných projektov, projektu VEGA 1/9079/02 s názvom *Analýza transportu tepla a vlhkosti v biologických poľnohospodárskych materiáloch*, ktorý bol s podporou vedeckej grantovej agentúry MŠ SR úspešne riešený na Katedre fyziky v období r. 2002 – 2004 a výskumného projektu VEGA 1/0609/03 Katedry skladovania a spracovania rastlinných produktov s názvom *Optimalizácia skladovania rastlinných produktov z hľadiska kvality a ekonomiky*, ktorého riešenie bolo ukončené v roku 2005.

Experimentálne výsledky získané v rámci riešenia problematiky dizertačnej práce boli prezentované na mnohých medzinárodných vedeckých konferenciách a publikované vo vedeckých časopisoch a zborníkoch z konferencií.

LITERATÚRA

- APPLIED PRECISION, Ltd.: *ISOMET 104*, User's guide, 1999
BLAHOVEC, J.: *Zemědělské materiály*, PEF VŠZ, Praha, 1993
BLAŽEK, A.: *Termická analýza*, SNTL, Praha, 1974
DAVIS, W. R.: Hot-Wire Method for the Measurement of the Thermal Conductivity of Refractory Materials, In: *Compendium of Thermophysical Properties Measurement Methods*, vol. 1, Plenum Press, New York, London, 1984
HAINES, P. J.: *Thermal Methods of Analysis: Principles, Applications and Problems*, Blackie Academic and Professional, London, 1995
HLAVÁČOVÁ, Z.: Metrológia vlhkosti zrn a semien poľnohospodárskych materiálov. In: *Zborník X. DIDMATTECH '97*, UKF, Nitra, 1997, 71
HLAVÁČOVÁ, Z. – RATAJ, V.: Sorpcia a desorpcia v biologických materiáloch. In: *Zborník z odb. seminára: Meranie vlhkosti dreva*, Technická univerzita, Zvolen, 1999, 56
KREMPASKÝ, J.: *Meranie termofyzikálnych veličín*, Veda, Bratislava, 1969
METTLER TOLEDO, *Collected Applications of Thermal Analysis: Food*, Schwerzenbach: Mettler Toledo, 1998
METTLER TOLEDO STAR[°] System, Termická analýza, DSC822[°], Návod k obsluze
METTLER TOLEDO STAR[°] System, Termická analýza, DSC822[°], STAR[°] Software
METTLER TOLEDO STAR[°] System, Modul TGA/SDTA851[°], Návod k obsluze
RATAJ, V.: *Tvorba vedeckého a odborného textu*, SPU, Nitra, 2003
STN ISO 712: *Stanovenie obsahu vody*, Praktická referenčná metóda, 1993
VOZÁR, L. A Computer-Controlled Apparatus for Thermal Conductivity Measurement by the Transient Hot Wire Method, In: *J. Therm. Anal.*, **46**, 1996, 495

PUBLIKOVANÉ PRÁCE AUTORKY SÚVISIACE S RIEŠENOU PROBLEMATIKOU

ADC – vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch

- LABUDOVÁ, G. – VOZÁROVÁ, V.: Uncertainty of the Thermal Conductivity Measurement Using the Transient Hot Wire Method, In: *J. Therm. Anal. Cal.*, **67**, 2002, 257
VOZÁROVÁ, V. – VALOVIČ, Š.: Thermophysical Properties of Granular Food Materials, In: *J. Therm. Anal. Cal.* (prijaté k publikovaniu)

ADE – vedecké práce v zahraničných nekarentovaných časopisoch

- LABUDOVÁ, G. – VOZÁROVÁ, V.: Hot-Wire and Hot-Plate Apparatuses of Measuring the Thermophysical Properties, In: *Trans. of the Tambov State Technical Univ.*, **8**, 2002, 85
VOZÁROVÁ, V.: Effect of Some Factors on the Transport Phenomena in the Grain Set, In: *J. Proc. Energy Agr.*, **6**, 2002, 46
VOZÁROVÁ, V.: Thermophysical Properties in Food Processing, In: *J. Proc. Energy Agr.*, **3-4**, 2005, 51
VOZÁROVÁ, V.: Some Thermophysical Properties of Grains and Seeds, In: *International Agrophysics*, **2**, 2005, 187

AEE – vedecké práce v zahraničných nerecenzovaných vedeckých zborníkoch, monografiách

- VOZÁROVÁ, V.: Temperature Influence on Thermophysical Properties of Food Materials, In: *Review of Current Problems in Agrophysics*, Inst. of Agrophysics PAS, Lublin 2005, 499

AFB – publikované pozvané príspevky na domácich vedeckých konferenciách

- VOZÁROVÁ, V.: Teplotná závislosť termofyzikálnych veličín biologického materiálu. In: *Zborník z medzinárodnej ved. Konferencie: Výskum a vyučovanie na katedrách fyziky v kontexte univerzitného vzdelávania*, SPU, Nitra, 2003, 149
- VOZÁROVÁ, V.: Thermophysical Properties of Biological Materials in the Food Processing. In: *Proceedings of the Int. Scientific Conference: Research and Teaching of Physics in the Context of University Education*, SUA Nitra, 2005, 81
- VOZÁROVÁ, V.: Study of Processes and Properties of Food Materials During Thermal Treatment. In: *Zborník z konferencie: Výskumné a edukačné aktivity na katedrách fyziky technických univerzít na Slovensku*, STU, Bratislava, 2006, 178

AFC – publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

- HLAVÁČOVÁ, Z. – VOZÁROVÁ, V. – RATAJ, V. – FÚSKA, M.: Elektrické a tepelné vlastnosti semien laskavca. In: *Zborník z XI. Mezinárodní vědecko - odborné konference DIDMATTECH'98*, PF Univerzita Palackého, Olomouc, 1998, 1. diel, 47
- VOZÁR, L. – LABUDOVOVÁ, G. – VOZÁROVÁ, V.: Measurement of Thermophysical Properties of Building Materials. In: *Proceedings of the conf.: New Requirements for Materials and Structures*, ČVUT, Praha, 1998, 87
- VOZÁROVÁ, V. – HLAVÁČOVÁ, Z.: Tepelné charakteristiky hrachu a kukurice. In: *Zborník z kalorimetrického seminára 1999*, Ostravská univerzita, Ostrava, 1999, 39
- VOZÁROVÁ, V.: Termofyzikálne vlastnosti obilnej masy a transportné javy. In: *Zborník z kalorimetrického seminára 2000*, Ostravská univerzita, Ostrava, 2000, 83
- VOZÁROVÁ, V.: Thermophysical Properties of the Grain Mass and Transport Phenomena. In: *Proceedings of the Int. Conf. Physical Methods in Agriculture*, Czech University of Agriculture, Prague, 2001, 340
- VOZÁROVÁ, V.: Vplyv niektorých faktorov na transportné procesy v biologických materiáloch. In: *Zb. z kalorim. seminára 2002*, Ostravská univerzita, Ostrava, 2002, 151
- VOZÁROVÁ, V.: Teplotná závislosť mernej tepelnej kapacity biologického materiálu. In: *Zb. z kalorimetrického seminára 2003*, Ostravská univerzita, Ostrava, 2003, 67
- VOZÁROVÁ, V.: Temperature Dependency of Thermophysical Properties of Biological Vegetable Material, In: *Proceedings of the 2nd International Workshop Applied Physics in Life Science*, Czech University of Agriculture, Prague, 2003, 73
- VOZÁROVÁ, V.: Thermophysical Properties of Grains and Seeds, In: *Proceedings of the 3rd International Workshop: Applied Physics in Life Science*, Czech University of Agriculture, Prague, 2004, 65
- VOZÁROVÁ, V.: Monitoring of Thermal Behaviour of Granular Food Materials. In: *Proceedings of the 4th International Workshop: Applied Physics in Life Science*, Czech University of Agriculture, Prague, 2005, 37

AFD – publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

- HLAVÁČOVÁ, Z. – VOZÁROVÁ, V.: Tepelné vlastnosti biologických materiálov z hľadiska odovzdávania vody. In: *Zborník medzinárodného slovenského a českého kalorimetrického seminára 1998*, Ostravská univerzita, Ostrava, 1998, 35
- VOZÁROVÁ, V.: HACCP a potravinová bezpečnosť. In: *Zborník vedecko-odborného seminára Vyučovanie fyziky a biofyziky na fakultách vysokých škôl technického zamerania*, SPU, Nitra, 1998, 50
- VOZÁROVÁ, V.: Meranie tepelnej vodivosti kukurice metódou horúceho drôtu. In: *Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie AGROTECH NITRA '99*, MF SPU, Nitra, 1999, 125
- VOZÁROVÁ, V.: Tepelná vodivosť kukurice. In: *Zborník z medzinárodnej vedecko – odbornej konferencie XII. DIDMATTECH '99*, PF UKF, Nitra, 2000, 90
- VOZÁROVÁ, V. – ŠTUBŇA, I. – VOZÁR, L.: Uncertainty of Measurement Results. In: *Zborník konferencie TERMANAL 2000*, ChTF STU, Bratislava, 2000, 163
- LABUDOVOVÁ, G. – VOZÁROVÁ, V.: Uncertainty of the Thermal Conductivity Measurement by the Transient Hot Wire Method. In: *Zborník Thermophysics 2000*, UKF, Nitra, 2000, 65

- VOZÁROVÁ, V.: Faktory ovplyvňujúce termofyzikálne vlastnosti obilnej masy. In: *Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie výskum a vyučovanie na katedrách fyziky v kontexte univerzitného vzdelávania*, SPU, Nitra, 2001, 87
- VOZÁROVÁ, V.: Faktory ovplyvňujúce tepelné vlastnosti biologických materiálov. In: *Zb. z kalorimetrického seminára 2001*, Ostravská univerzita, Ostrava, 2001, 157
- VOZÁROVÁ, V.: Termofyzikálne vlastnosti obilnej masy a transportné javy. In: *Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie AGROTECH NITRA 2001*, SPU, Nitra, 2001, 438
- VOZÁR, L. – LABUDOVÁ, G. – ŠTUBŇA, I. – VOZÁROVÁ, V. – TELEKI A.: Štúdium termofyzikálnych vlastností materiálov. In: *Zborník z 12. konferencie slovenských fyzikov*, SFS, Bratislava, 2001, 117
- VOZÁROVÁ, V.: Transportné vlastnosti biologických materiálov, In: *Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie XV. DIDMATTECH 2002*, UKF, Nitra, 2003 (vyšlo v r.2004), 153
- VOZÁROVÁ, V.: Termofyzikálne vlastnosti potravinárskych materiálov, In: *Zborník z konferencie: Výskumné a edukačné aktivity na katedrách fyziky technických univerzít na Slovensku* (CD), STU, Bratislava, 2004, 81

AFE – abstrakty pozvaných príspevkov zo zahraničných konferencií

- VOZÁROVÁ, V.: Thermophysical Properties of Biological Materials. In: *Book of Abstracts of the 4th International Workshop BioPhys Spring 2005*, Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Lublin, Poland, 2005, 19

AFG – abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií

- VOZÁROVÁ, V.: Effect of Some Factors on the Heat Transport in the Grain Mass. In: *Book of Abstracts of the 5th International Conference on Food Physics*, Mendel University of Agriculture and Forestry, Brno, 2002, 39
- VOZÁROVÁ, V. – VALOVIČ, Š.: Thermophysical Properties of Selected Food Materials, In: *Book of Abstracts of the 6th International Conference on Food Physics and Dairy Sciences*, University of Pécs, Pécs, Hungary, 2004, 41
- VOZÁROVÁ, V.: Thermophysical Properties of Selected Food Materials, In: *Book of Abstracts of the International Workshop Characterization of granular agro-materials and food powders*, Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Lublin, Poland, 2004, 41
- VOZÁROVÁ, V.: Methods of Study of Processes and Properties of Food Materials during Thermal Treatment. In: *Book of Abstracts of the International Workshop: Methodical and Theoretical approaches to study hydro- and thermo-physical characteristics of porous media*, Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Lublin, Poland, 2006, 20
- VOZÁROVÁ, V.: Study of Processes and Properties of Food Materials during Thermal Treatment. In: *Book of Abstracts of the 7th International Conference of Food Physicist*, Senta, Serbia, 2006, 11

AFG – abstrakty príspevkov z domácich konferencií

- VOZÁR, L. – BEŇAČKA, J. – ŠTUBŇA, I. – VOZÁROVÁ, V.: Thermal diffusivity measurement of a composite material with orthogonal anisotropy using the flash method: Optimal experimental design analysis. In: *Book of Abstracts of the 17th European Conference on Thermophysical Properties*, Constantine the Philosopher University in Nitra and Slovak Academy of Sciences in Bratislava, 2005, 324

AFK – postery zo zahraničných konferencií

- HLAVÁČOVÁ, Z. – VOZÁROVÁ, V.: Thermal properties of pea seeds and corn kernels. In: *Poster Conf.: XXIV. HAS-ATC Research & Development Conference*, Magyar tudományos akadémia, Kutatási és fejlesztési tanácskozás, Nr.24, 2. kötet, Gödöllő, 2000, 111