

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
TECHNICKÁ FAKULTA**

1119679

BAKALÁRSKA PRÁCA

2011

Peter Borza

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
TECHNICKÁ FAKULTA

ANALÝZA FYZIKÁLNYCH VLASTNOSTÍ VYBRANÝCH
PALÍV

Bakalárska práca

Študijný program:	Prevádzková bezpečnosť techniky
Študijný odbor:	2386700 Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra fyziky
Školiteľ:	RNDr. Monika Božiková, PhD.
Konzultant: (nepovinný)	RNDr. Monika Božiková, PhD.

2011

Peter Borza

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Peter Borza vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Analýzy fyzikálnych vlastností vybraných palív“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 28. apríla 2011

.....

Pod'akovanie

Touto cestou sa chcem pod'akovať vedúcej diplomovej práce RNDr. Monike Božikovej, PhD. za odborné vedenie, pripomienky a cenné rady, ktoré mi poskytla pri vypracovaní mojej bakalárskej práce.

Abstrakt

Biopalivá sú jedným z významných zdrojov energie. Ich používanie je v súčasnosti stále viac preferované, nakoľko sú pomerne ekologickým zdrojom energie. Pri výrobe, spracovaní a skladovaní biopalív dochádza často krát k tepelnej a mechanickej manipulácii, preto termofyzikálne parametre, ktorých skúmaniu je venovaná predkladaná bakalárska práca sú jednými z najvýznamnejších.

V rámci bakalárskej práce sú v kapitole súčasný stav riešenej problematiky definované predmet a metódy termodynamiky, sú zároveň uvedené definície vybraných termofyzikálnych veličín, sú popísané mechanizmy transportu tepla. Ďalej je vypracovaný prehľad základných typov aparatúr používaných na meranie tepelnej vodivosti materiálov. V druhej časti prehľadu o súčasnom stave riešenej problematiky je pozornosť venovaná problematike palív s dôrazom na biopalivá, pričom bližšie sa práca venuje najmä problematike tuhých biopalív, pri ktorých sú uvedené aj ich základné charakteristiky. V rámci metodiky je prezentovaný popis experimentálneho zariadenia používaného pri realizácii termofyzikálnych meraní, ďalej je vypracovaný prehľad meraných vzoriek biopalív. V rámci prezentácie výsledkov sú uvedené numerické i grafické vyhodnotenia experimentálnych dát získaných meraním vybraných typov vzoriek biopalív.

Poznanie termofyzikálnych parametrov biopalív je nevyhnutné pre zabezpečenie optimalizácie procesov výroby, skladovania a spracovania biopalív. Výsledky získané pri experimentálnych pozorovaniach môžu byť použité v praktických aplikáciách. Napríklad pri hodnotení kvality biopalív a návrhu technologických postupov.

Kľúčové slová: tepelná vodivosť, teplotná vodivosť, hmotnostná tepelná kapacita, biopalivá

Abstract

Biofuels are one of the significant energy source. Its usage is in presence more and more preferred, as they are quite ecological source of energy. In production, processing and storage of biofuels comes many times to thermal and mechanical manipulation, so thermophysical parameters, of which examination is presented in the bachelor thesis, are one of the most significant parameters.

Within bachelor thesis are in the first part defined subject and method of thermodynamics and also definitions of chosen thermophysical values together with described ways of heat transport. Moreover is elaborated overview of basic apparatus types used to measuring of thermal conductivity of materials. In the second part of an present review of solved solved issues is the attention given to the issue of fuels with emphasis to biofuels. The thesis is specialized to solid biofuels, by which are described basic characteristics, as well. Within methodology is presented description of experimental device used by realization of thermophysical measurement, moreover is elaborated overview of measured biofuels samples. Within results presentation are stated numeric and graphical evaluation of experimental data, which were obtained by measuring of selected types of biofuel samples.

Knowledge of thermophysical parameters of biofuels is necessary to ensure the optimalization of production process, storage and processing of biofuels. Results obtained by experimental observations can be used in practical applications. For example by evaluation of biofuels quality and proposal of technological procedures.

Key words: thermal conductivity, thermal diffusivity, specific heat, biofuels

Obsah

Zoznam skratiek a značiek	8
Úvod	9
1 Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí	11
1.1 Teoretické základy termodynamiky	11
1.1.1. Predmet a metódy termodynamiky	11
1.1.2. Vybrané termofyzikálne veličiny	11
1.2 Mechanizmy transportu tepla	13
1.2.1. Prenos tepla vedením – kondukciou	13
1.2.2. Prenos tepla prúdením - konvekciou	15
1.2.3. Prenos tepla žiarením - radiaáciou	16
1.3 Meranie tepelnej vodivosti	16
1.3.1. Meranie tepelnej vodivosti pevných izolantov	17
1.3.1.1 Aparatúra na meranie tepelnej vodivosti pevných izolantov	18
1.3.2. Meranie tepelnej vodivosti sypkých látok	20
1.3.2.1 Aparatúra na meranie tepelnej vodivosti sypkých látok	20
1.3.3. Meranie tepelnej vodivosti kvapalných látok	23
1.3.3.1 Aparatúra na meranie tepelnej vodivosti kvapalných látok	23
1.4 Palivá	24
1.5 Biomasa	25
1.5.1.1 Biomasa vhodná pre spaľovanie	27
1.5.1.2 Biomasa vhodná na výrobu kvapalných biopalív	28
1.5.1.3 Biomasa vhodná na výrobu bioplynu	29
1.6 Tuhé biopalivá	30
1.6.1. Vybrané druhy analyzovaných vzoriek tuhých biopalív	30
1.6.1.1 Pelety	30
2 Cieľ práce	33
3 Metodika práce a metódy skúmania	34
3.1 Popis meracieho zariadenia na meranie termofyzikálnych parametrov	34
3.1.1. Isomet typ 104 a typ 2104	35
3.1.2. Teoretické základy merania prístrojom Isomet	36
3.1.3. Všeobecný popis metódy dynamického plošného zdroja	37
3.2 Merané vzorky	39
4 Výsledky práce	41
4.1 Hodnoty hmotnostnej tepelnej kapacity pre interval relatívnej vlhkosti	41
4.1.1. Vzorka – drevo jelša	41
4.1.2. Vzorka – drevo dub	42
4.1.3. Vzorka – drevo buk	43
4.1.4. Vzorka – drevo červený smrek	44

4.2	Hodnoty teplotnej vodivosti pre interval relatívnej vlhkosti.....	45
4.2.1.	Vzorka – drevo jelša.....	45
4.2.2.	Vzorka – drevo dub.....	46
4.2.3.	Vzorka – drevo buk.....	47
4.2.4.	Vzorka – drevo červený smrek	48
4.3	Hodnoty tepelnej vodivosti	49
4.3.1.	Vzorka – drevo jelša.....	49
4.3.2.	Vzorka – drevo dub.....	51
4.3.3.	Vzorka – drevo buk.....	52
4.3.4.	Vzorka – drevo červený smrek	54
4.3.5.	Hodnoty tepelnej vodivosti pre vzorky peletiek z mäkkého a tvrdého dreva 55	
4.3.6.	Hodnoty tepelnej vodivosti pre vzorky peletiek z repky olejnej a odpadu repky olejnej	57
4.3.7.	Hodnoty tepelnej vodivosti – vzorka slamy a peletiek vyrobených zo slamy 58	
4.3.8.	Hodnoty tepelnej vodivosti pre vzorku odpadu pri výrobe MERA	60
	Záver	62
	Použitá literatúra.....	63

Zoznam skratiek a značiek

c	hmotnostná tepelná kapacita	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
J	joule odvodená jednotka SI	N.m
λ	koefficient tepelnej vodivosti	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
a	koefficient teplotnej vodivosti	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
$c\rho$	merná objemová tepelná kapacita	$\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$
t	teplota	$^{\circ}\text{C}$
T	termodynamická teplota	K
ρ	merná hmotnosť	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
l	dĺžka	m
Q	teplo	J
P	výkon prúdu	W
ω	relatívna vlhkosť	%
K	súčiniteľ prechodu tepla	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
α	Seebeckov koefficient	$\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$
W	v sústave SI odvodená jednotka výkonu	$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$

Úvod

Budúci ekonomický rozvoj si vyžaduje súčasný šetrný prístup k energetickým zdrojom a životnému prostrediu. Princípy a ciele udržateľného rozvoja postupne prenikajú do každodenného života a uspokojovanie potrieb súčasnej generácie bez ohrozenia obdobných potrieb budúcich generácií je jednou z najväčších výziev pre Európu aj svet 21. storočia. Dopyt po energiách a palivách však v našej civilizácii z roka na rok dynamicky rastie a preto v snahe zabezpečiť uspokojenie energetických potrieb ľudstva a zároveň zabezpečiť ochranu životného prostredia sa do popredia dostávajú biopalivá.

Vo všeobecnosti je palivo označenie pre chemický prvok, chemickú látku alebo ich zmes, ktorá je schopná za vhodných podmienok začať a udržať chemickú reakciu spaľovania. Pri spaľovaní sa uvoľňuje chemická energia obsiahnutá v palive, a premieňa sa hlavne na tepelnú energiu, ktorú je možné ďalej využiť. (Trnka J., Urban J., 1992.) V snahe správať sa ekologickejšie k životnému prostrediu sa v súčasnosti stretávame s požiadavkou, aby palivá boli nielen zdrojom energie, ale aby boli súčasne aj ekologické. Preto sa často krát stretávame s kombinovaným využitím fosílnych palív a biopalív, čo prispieva k zvýšeniu podielu obnoviteľných zdrojov energie a tým k ochrane životného prostredia.

Z vyššie uvedených dôvodov sa predkladaná bakalárska práca venuje problematike termofyzikálnych vlastností s dôrazom na vybrané druhy biopalív.

V práci sú definované predmet a metódy termodynamiky, sú tu uvedené definície vybraných termofyzikálnych veličín, popísané mechanizmy transportu tepla. Zároveň je vypracovaný prehľad základných typov aparátúr používaných na meranie tepelnej vodivosti materiálov s rôznou štruktúrou a konzistenciou. V druhej časti kapitoly, ktorá je venovaná súčasnému stavu riešenej problematiky je pozornosť zameraná najmä na problematiku, konkrétne tuhých biopalív. V bakalárskej práci sú uvedené základné rozdelenia a charakteristiky biopalív. V rámci metodiky práce je popísané experimentálne zariadenie na meranie termofyzikálnych parametrov spolu s teoretickou charakteristikou metódy dynamického plošného zdroja a je vypracovaný prehľad meraných vzoriek. Prezentácia výsledkov je realizovaná numerickým i grafickým experimentálne získaných dát na vzorkách biopalív.

Úlohou realizovaných meraní je najmä overenie si hodnôt vybraných termofyzikálnych parametrov. Prvá časť experimentálnych pozorovaní má teda prevažne

overovací charakter. Získané výsledky môžu prispieť k štúdiu a kompletizácii základných fyzikálnych vlastností biopalív.

1 Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí

1.1 Teoretické základy termodynamiky

Termodynamika sa vo všeobecnosti považuje za náuku o teple resp. o premenách tepelnej energie na iné formy energie a naopak. Pre vysvetlenie pojmu termodynamika je v ďalšom texte popísaný predmet termodynamiky a metódy skúmania termodynamiky.

1.1.1. Predmet a metódy termodynamiky

Metódy skúmajúce tepelné vlastnosti látok bez znalosti ich molekulovej štruktúry sa historicky vyvinuli ešte pred vznikom molekulovej a štatistickej fyziky, v rámci fyzikálnej disciplíny, ktorú nazývame termodynamika. Termodynamika vznikla ako náuka, ktorá skúma premenu tepla na mechanickú prácu, ako to vyplynulo najmä z potreby vypracovania teoretického základu činnosti tepelných strojov. Termodynamika na rozdiel od molekulovej fyziky priamo nevyužíva molekulovú štruktúru látky, ale sa opiera o rozsiahlu ľudskú skúsenosť, ktorú zovšeobecňuje v tzv. termodynamických vetách.

Význam termodynamiky sa nezmenšil ani po rozvoji molekulovej a štatistickej fyziky, skôr naopak. Totiž práve tieto disciplíny umožnili presnejšie formulovať niektoré princípy termodynamiky a určiť hranice ich použiteľnosti. Tým, že termodynamika v porovnaní so štatistickou fyzikou nevyžaduje údaje o molekulovej štruktúre, môže často oveľa jednoduchšie opísať skúmané javy. Toto má nesmierny význam nielen v mnohých odboroch fyziky, ale aj v chémii, biológii a v technológii prípravy rôznych materiálov s požadovanými vlastnosťami. Na druhej strane, aj keď termodynamika vie správne vysvetliť mnohé javy, nepodáva obraz o ich mechanizme, t. j. prečo tieto javy prebiehajú práve určitým spôsobom.

1.1.2. Vybrané termofyzikálne veličiny

Tepelná kapacita C

Ak zohrievame nejaké teleso (plyn, kvapalinu a pod.), mení sa jeho teplota. Množstvo tepla potrebné na zmenu teploty telesa o jeden Kelvin nazývame jeho *tepelnou kapacitou*. Pri danom telese tepelná kapacita závisí ešte aj od toho, aký dej

prebieha počas ohrievania. Napríklad plyn môže zväčšovať svoj objem, tuhé látky sa rozťahujú a pod. Z toho dôvodu tepelnú kapacitu vždy vzťahujeme na konkrétny dej. Tepelnú kapacitu látok meriame v jouloch na kelvin: $J.K^{-1}$.

- **Hmotnostná tepelná kapacita** c vyjadruje množstvo tepla, ktoré je potrebné dodať resp. odobrať látke o hmotnosti m , aby sa jej teplota zvýšila resp. znížila o 1 K. Hmotnostná tepelná kapacita je jednou z najdôležitejších termofyzikálnych veličín a jej hodnoty pre rôzne technické materiály sú v praxi často využívané. Jednotka hmotnostnej tepelnej kapacity je $J.kg^{-1}.K^{-1}$

$$c = \frac{C}{m} \quad (1)$$

- **Objemová tepelná kapacita** $c\rho$ je množstvo tepla, ktoré je potrebné na ohriatie objemu $1m^3$ látky o 1 K (Supeková, 2010).

Tepelná vodivosť λ je jedným zo základných termofyzikálnych parametrov, vyjadruje schopnosť látky viesť teplo. Vo všeobecnosti látky z pohľadu tepelnej vodivosti delíme na tepelné vodiče a tepelné izolanty. Tepelné izolanty majú hodnoty tepelnej vodivosti pomerne nízke, tepelné vodiče naopak vysoké. Tepelná vodivosť λ je konštantou úmernosti v definícii hustoty tepelného toku vyjadrenej Fourierovým zákonom:

$$\bar{q} = -\lambda \text{ grad } T \quad (2)$$

kde: \bar{q} - vektor hustoty tepelného toku,
 T - teplota.

Koeficient tepelnej vodivosti svojou hodnotou vyjadruje objem tepla, ktoré v ustálenom stave prechádza prierezom látky pri rozdieli teplôt za jednotku času. Jednotkou koeficientu tepelnej vodivosti je $1 W.m^{-1}.K^{-1}$. Koeficient tepelnej vodivosti rôznych látok sa mení v rozpätí asi 5 rádov. (Hajko, 1980)

- **Teplotná vodivosť** a je veličina ukazujúca, ako sa v látke vyrovnávajú teplotné rozdiely. Teplotnú vodivosť vieme vyjadriť, ak poznáme tepelnú vodivosť, hmotnostnú tepelnú kapacitu a hustotu látky vzťahom (3). Jednotkou koeficientu tepelnej vodivosti je $1 m^2.s^{-1}$.

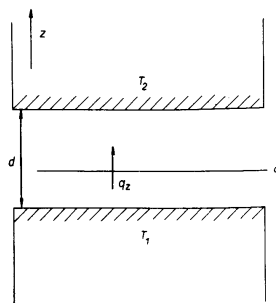
$$a = \frac{\lambda}{c\rho} \quad (3)$$

1.2 Mechanizmy transportu tepla

Vo všeobecnosti rozdeľujeme mechanizmy transportu tepla do dvoch základných skupín, podľa toho, či je vytvorený dotyk medzi zdrojom tepla a prijímačom tepla, alebo nie. Ak dotyk existuje, hovoríme o dotykovom transporte tepla v látkach. Takto sa teplo šíri v tuhých látkach, kvapalinách a plynch. Ak neexistuje vzájomný kontakt medzi zdrojom a prijímačom tepla hovoríme o bezkontaktnom spôsobe transportu tepla. V tomto prípade sa teplo transportuje prostredníctvom elektromagnetického vlnenia. Medzi kontaktné spôsoby transportu tepla zaraďujeme vedenie tepla, ktoré sa uplatňuje prevažne v tuhých látkach a prenos tepla prúdením, ktoré sa uplatňuje v tekutinách (kvapalinách a plynch). V ďalšom texte je uvedený popis jednotlivých transportných mechanizmov.

1.2.1. Prenos tepla vedením – kondukciou

Z každodennej skúsenosti vieme, že ak zahrievame nejakú látku na jednom mieste, teplo sa postupne šíri aj do ostatných častí látky. Proces možno vysvetliť na základe tepelného pohybu molekúl, ktoré si pri zrážkach navzájom odovzdávajú kinetickú energiu. Ak látku vložíme medzi dva termostaty s teplotami $T_2 > T_1$ (obr. 1).



Obr. 1

Princíp transportu tepla vedením

Keďže je vytvorený gradient teploty, nastane v smere osi z prenos tepla od termostatu s väčšou, k termostatu s menšou teplotou. Pretože v homogénnom prostredí niet dôvodu, prečo by sa teplo prenášalo aj v smere kolmom na os z , teplota v látke je iba funkciou súradnice z . Ak zvolíme rovinu σ s rovnicou $z = \text{konštanta}$ a sledujeme, koľko tepla sa cez rovinu preniesie v smere osi z za čas Δt zistíme, že prenesené množstvo tepla ΔQ bude úmerné ploche S , cez ktorú sa v rovine σ prenáša a času Δt . Ďalej bude priamo úmerné rozdielu teplôt $(T_2 - T_1)$ a nepriamo úmerné hrúbke látky d .

Matematicky to možno uvedenú závislosť medzi jednotlivými fyzikálnymi veličinami zapísať rovnicou (4),

$$\Delta Q = -\lambda \frac{T_2 - T_1}{d} \Delta t \quad (4)$$

kde konštantu úmernosti λ nazývame *koeficientom tepelnej vodivosti* alebo skráteno *tepelná vodivosť*. Záporné znamienko v rovnici (4) vyjadruje, že teplo sa prenáša v opačnom smere, ako rastie teplota. Ak prepočítame prenesené teplo ΔQ na jednotku plochy a na jednotku času, dostaneme hustotu tepelného toku vyjadrenú rovnicou (5).

$$q = \frac{\Delta Q}{S \Delta t} \quad (5)$$

Ďalšie zjednodušenie vzťahu dosiahneme nahradením výrazu $(T_2 - T_1)/d$ pomocou teplotného gradientu dT/dz . Gradient teploty reprezentuje zmenu teploty, ku ktorej dochádza na určitej vzdialenosti. Uvedenú úpravu môžeme zapísať rovnicou (6)

$$\frac{T_2 - T_1}{d} = \frac{dT}{dz} \quad (6)$$

Potom pre hustotu tepelného toku v kladnom smere osi z získame vzťah:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dz} \quad (7)$$

Posledná rovnica má tú výhodu, že q a dT/dz sú zadané v rovnakom bode, a preto je všeobecnejšia. Možno ju aplikovať aj na prípady, keď gradient dT/dz nie je konštantný, ale sa mení so vzdialenosťou z . Ak neuvažujeme vyžarovanie rovnica (7) dobre vystihuje vedenie tepla nielen v izotropných tuhých látkach (koeficient tepelnej vodivosti nezávisí od smeru šírenia sa tepla), ale aj v kvapalinách a plynch. Pri kvapalinách a plynch treba však vylúčiť vplyv prúdenia (konvekcie), ktoré môže prenos tepla podstatne zvýšiť. (Veis – Martišovič, 1978)

Z vyššie uvedeného popisu je zrejmé, že koeficient tepelnej vodivosti λ bude materiálová konštanta, ktorá charakterizuje schopnosť látky viesť teplo. Dobrý vodič tepla má vysokú hodnotu λ a naopak zlý vodič tepla má nízku hodnotu koeficienta tepelnej vodivosti. Koeficienty vybraných materiálov – bežných kovov, plynov a stavebných materiálov sú uvedené v Tab. 1.

Tab. 1**Súčinitele tepelnej vodivosti vybraných kovov, plynov a stavebných materiálov**

Materiál	λ W.m⁻¹.K⁻¹
<i>Kovy</i>	
Nerezová oceľ	14
Olovo	35
Hliník	235
Meď	401
Striebro	428
<i>Plyny</i>	
Suchý vzduch	0,026
Hélium	0,15
Vodík	0,18
<i>Stavebné materiály</i>	
Molitan	0,024
Čadičová vlna	0,043
Sklená vata	0,048
Drevo (borovica)	0,11
Okenné sklo	1,0
Tepelné vodivosti závisia mierne od teploty. Uvedené hodnoty platia pre izbovú teplotu	

1.2.2. Prenos tepla prúdením - konvekciou

Prenos tepla prúdením nastáva vtedy, keď tekutina (ako je napríklad vzduch alebo voda) je v styku s predmetom vyššej teploty. Teplota tekutiny v styku s týmto predmetom rastie a tekutina (vo väčšine prípadov) sa rozťahuje, čím jej hustota klesá. Preto sa tým stáva ľahšia než okolitá chladná tekutina, ohriata tekutina začne vplyvom vztlaku stúpať hore. Časť chladnejšej tekutiny sa dostane na jej miesto a tam sa zohreje, proces sa opakuje až dovtedy, kým sa nedosiahne konečný stav t.j. tekutina dosiahne požadovanú teplotu resp. nastane stav termodynamickej rovnováhy. Prúdenie je súčasťou mnohých prírodných dejov a uplatnenie nachádza aj v technike, výrobných

procesoch, priemysle a poľnohospodárstve.

1.2.3. Prenos tepla žiarením - radiaáciou

Tretí z pôsob prenosu tepla medzi predmetom a jeho okolím je prenos tepla žiarením, niekedy tiež sálaním, prostredníctvom elektromagnetických vln. V takom prípade často hovoríme o tepelnom žiarení. Na prenos tepla žiarením netreba žiadne hmotné prostredie, prenos sa realizuje prostredníctvom elektromagnetického vlnenia, ktoré je vysielané do okolia predmetu s vyššou teplotou. Výkon P_r vyžarujúceho predmetu (t.j. rýchlosť, s akou vyžaruje energiu prostredníctvom elektromagnetických vln) závisí na veľkosti jeho povrchu S a od jeho teploty T a je daný Stefanovým-Boltzmannovým zákonom (8).

$$P_r = \sigma \varepsilon S T^4 \quad (8)$$

kde $\sigma = 5,6713 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ sa nazýva Stefanova-Boltzmannova konštanta. Výkon P_a , s akým predmet absorbuje energiu formou tepelného žiarenia z iného zdroja s teplotou T_0 je vyjadrený vzťahom (9)

$$P_a = \sigma \varepsilon S T_0^4 \quad (9)$$

Predmet teploty T vyžaruje energiu do svojho okolia a súčasne energiu z okolia príma. Celkový výkon P je možné vyjadriť zo vzťahu (10)

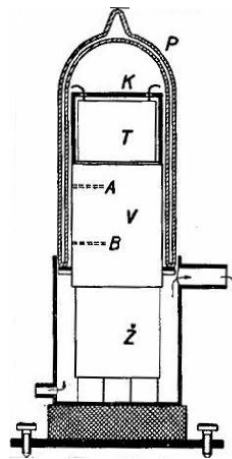
$$P = P_a - P_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot S \cdot (T_0^4 - T^4) \quad (10)$$

1.3 Meranie tepelnej vodivosti

Prístroje ktoré sa používajú na meranie tepelnej vodivosti, sú rôzne v závislosti od charakteru meranej látky, jej štruktúry, zloženia a skupenstva. Ďalej sú rozdiely v meracích aparátúrach aj v rámci jednotlivých skupín tuhých látok. Napríklad iné usporiadanie meracieho reťazca sa používa pre dobré vodiče tepla (hlavne kovy) a iné pre zlé vodiče (hlavne izolačné hmoty). Špeciálnu kategóriu v rámci merania predstavujú sypké materiály, ktoré sú najlepšimi izolantmi a na ich meranie boli zostrojené špeciálne prístroje resp. boli modifikované štandardne používané meracie aparátúry. Pri popise prístrojov uvádzame niekoľko hlavných typov určených k presnému meraniu najmä v laboratórnych podmienkach.

1.3.1. Meranie tepelnej vodivosti pevných izolantov

Málo vodivé pevné látky sa merajú najčastejšie v tvare dosiek. Pri meraní sa zvolí veľká plocha dosky a malá hrúbka dosky, na nej vznikne z dôvodu nízkej tepelnej vodivosti meranej vzorky dostatočný rozdiel teplôt. Na meranie zlých tepelných vodičov je potrebné upraviť štandardne používané usporiadanie meracej aparatury zobrazené na obrázku 2 tak, že sa valec V nahradí kruhovou doskou vyhotovenou zo skúšaného materiálu, ktorá sa vloží medzi dva medené kotúče, do ktorých sa zapustia spoje termočlánku. Týmto termočlánkami sa zmeria rozdiel teplôt na plochách dosky a delením jej hrúbky sa vypočíta tepelný spád σ . Hustota tepelného prúdu i je rovná (až na straty na okrajoch dosky) Joulovmu teplu výhrevného telesa, deleného plochou dosky. Pri presnom meraní zvlášť za vyšších teplôt sa odporúča nahradiť Dewarovu nádobu ochrannými prstencami, ktoré budú zohrievané elektricky a použiť ďalšie ochranného výhrevného telesa, umiestnené nad vlastným výhrevným telesom T . Teploty oboch týchto zariadení sa skontrolujú niekoľkými termočlánkami a podľa nameraných údajov sa realizuje korekcia výhrevného prúdu. Stav tepelnej rovnováhy nastane u zlých vodičov merania, spravidla sa jedná o niekoľko hodín. Vyššie uvedené skutočnosti značne predlžujú čas merania.



Obr. 2

Jakobov prístroj

Isté výhody má dvojdoskový prístroj. Dve rovnaké dosky D_1 a D_2 zo skúšanej látky, medzi ktorými leží ploché výhrevné teleso T , sú obložené dvoma železnými doskami \check{Z}_1 a \check{Z}_2 , prestupnými látkami ktorými preteká voda. Aby všetko teplo vyrobené, elektrickým prúdom vo výhrevnom telese T , prechádzalo doskami, je toto

obklopené ochranným prstencom P , vyhrievaným elektricky na tú istú teplotu ako výhrevné teleso. Celé zariadenie je umiestnené v tepelne izolovanom boxe. Ako izolačná výplň je použitá sypká izolačná hmota z korku resp. kremelina a pod. Chladiace dosky prekrývajú s oboch strán ochranný prstenec, čo má za následok, že na okraji dosiek D_1 a D_2 vznikne prakticky taký istý teplotný spád teploty ako na doskách. Potom tepelné sú zanedbateľné.

Na meranie tepelnej vodivosti zlých vodičov tvaru dosky je vhodný Fitchov prístroj. Prístroj využíva nestacionárnu metódu, ktorá má tú výhodu, že nie je potrebné čakať na ustálený tepelný prúd. Tepelná vodivosť vzorky sa určuje zo závislosti teploty od času. Fitchov prístroj umožňuje najmä časovú racionalizáciu merania a je použiteľný pri teplotách od približne 20 °C do 200 °C. Napriek podstatnému skráteniu doby merania dáva táto rýchla metóda pomerne dobré výsledky.

1.3.1.1 Aparatúra na meranie tepelnej vodivosti pevných izolantov

Tepelná vodivosť izolantov resp. zlých vodičov tepla sa meria jednoduchým zariadením znázorneným na obrázku 3. Výhodné je najmä, ak možno vzorku meraného materiálu vyhotoviť v tvare dutého valca, ktorého hrúbka musí byť malá proti polomeru vytvoreného valca. Do valca vytvoreného z meranej látky vložíme výhrevnú cievku C (s izolovaného drôtu), teplomer T_1 a drôtenú miešačku M , dolu valec uzatvoríme hrubou korkovou zátkou, naplníme vodou a uzatvoríme zhora druhou korkovou zátkou. Trubicu ponoríme do väčšieho vodného kúpeľa, ktorý rovnako premiešavame a meriame v nej teplotu teplomerom T_2 . Do kúpeľa priteká voda z vodovodu rovnakým prúdom a prepádom alebo trubicou odteká. Podľa $Q = P/I$ je teplo Q , vyrobené za sekundu prúdom výkonu P , čo ak dosadíme do vzorca (11)

$$\lambda = \frac{Q}{S \tau} \frac{l}{\Delta t} \quad (11)$$

za Q/τ . Stredná plocha, ktorou ide tepelný prúd,

$$S = 2\pi h \frac{r_1 + r_2}{2} \quad (12)$$

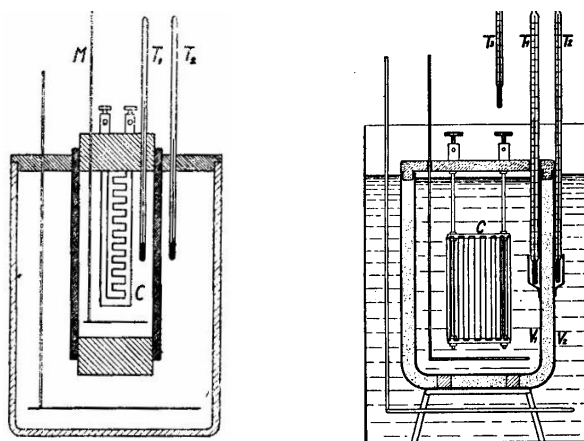
a $l = r_2 + r_1$, ak je h výška valca a r_1, r_2 sú označené vnútorný a vonkajší polomer valca. Potom tepelnú vodivosť určíme zo vzťahu (13).

$$\lambda = \frac{1}{\pi h} \frac{r_2 - r_1}{r_1 + r_2} \frac{P}{t_1 - t_2} \quad (13)$$

Kde t_1 je teplota vo vnútri valca a t_2 je teplota vnútorného kúpeľa. Tieto teploty sa zaznamenávajú až dovtedy, kým nenastane ustálený stav resp. ak aspoň kolíšu okolo stálych teplôt. Do vzorca (13) dosadíme tieto ustálené hodnoty. Popísanou metódou dostaneme iba približný výsledok, preto že použitý vzorec nie je úplne presný nakoľko teploty vody vo vnútri i v okolí valca sa líšia iba od teploty vnútornej a vonkajšej steny valca. Neberieme tiež do úvahy teplo prestupujúce korkovými zátkami. Tieto tepelné straty je možné zistiť tak, že opakujeme meranie s tým istým valcom, ale inej výšky h' a upravíme výkon P' elektrického prúdu tak, aby rozdiel teplôt $t_1 - t_2$ bol v oboch prípadoch rovnaký. Ak označíme teplo uniknuté za sekundu oboma zátkami, ktoré sú v oboch prípadoch rovnaké, písmenom p , z rovnice (13) vyplýva nasledovná rovnosť:

$$\frac{P - p}{h} = \frac{P' - p'}{h'} \Rightarrow \frac{Ph' - P'h}{h' - h} \quad (14)$$

Tým je určená časť P' celkového výkonu prúdu, ktorý sa spotrebuje na teplo uniknuté zátkami, a zmenšíme hodnotu P vo vzorci (13), kam dosadíme namiesto P rozdiel $P - p$. Ak meriame výkon prúdu ampérmetrom a voltmetrom, zapojíme výhrevnú cievku ako elektrický kalorimeter. Výkon je daný v najjednoduchšom prípade jednosmerným prúdom ako súčin napätia a prúdu.



Obr. 3

a- meranie tepelnej vodivosti trubice, b – meranie tepelnej vodivosti sypkých látok

1.3.2. Meranie tepelnej vodivosti sypkých látok

Sypké látky je možné zmerať rovnakou meracou aparaturou ako tepelné izolanty, úprava pôvodnej meracej aparatury sa realizuje tak, že sa vloží namiesto meranej dosky medzi výhrevné teleso a chladiacu dosku tri hranoly alebo dosky z izolačnej hmoty, ktoré majú predpísanú hrúbku a proti doskám vytvoríme malú plochu. Vzniknutá medzera sa zasype meranou sypkou látkou, jej vodivosť však podstatne závisí na jej stlačení, preto je potrebné určiť sypnú hmotnosť t.j. hustotu sypkej látky v medzere.

Sypké látky mávajú ešte menšiu tepelnú vodivosť ako pevné izolanty a preto u doskových prístrojov je treba voliť veľmi tenké vrstvy, aby teplo unikajúce okolo ich okrajov bolo malé proti teplu prestupujúcemu naprieč vrstvou. U hrubších materiálov nemôžeme ľubovoľne znižovať hrúbku vrstiev a pre takéto látky sú výhodnejšie aparatury využívajúce valcový tvar meranej vzorky. Valcový tvar meranej vzorky umožňuje podstatne zjednodušiť matematický aparát potrebný na popis teoretických základov merania.

1.3.2.1 Aparatúra na meranie tepelnej vodivosti sypkých látok

Meracie hodnoty pre sypké látky sú rôzne podľa ich zrnitosti. Tepelná vodivosť jemnozrnných látok, zvlášť práškových hmôt, ktoré sú veľmi dôležitým izolačným prostriedkom, sa meria spôsobom podobným ako u tepelnej vodivosti sypkých látok. Príslušné zariadenie je zrejme z obr. 3. Meraná látka sa navrství na dno vnútornej kovovej (medenej resp. mosadznej) valcovej nádoby V_2 do výšky malých sklenených hranolov (doštičiek), na ktoré sa postaví vnútorná valcová nádoba V_1 . Vrstva meraného materiálu však najmä od sypnej hmotnosti navrstvene látky, a preto je nutné dbať na rovnaké rozloženie sypkej vzorky. Vhodné je vždy kontrolne zistiť sypnú hmotnosť nepriamym meraním s využitím definičného vzťahu pre sypnú hmotnosť t.j. vážením a určením objemu. Keďže obe nádoby majú rovinné dno, hrúbka vrstvy meraného materiálu bude všade rovnaká, jej priemer a šírka sa presne určíme tak, že sa zistí vonkajší polomer r_1 nádoby V_1 , vnútorný polomer r_2 nádoby V_2 a výška sklenených hranolov. Nato sa dutina naplní do výšky h vodou, jej hmotnosť sa určí vážením. Ak je dutina dosť úzka, jej obsah je rovný súčinu priemernej šírky δ dutiny a aritmetického stredy z povrchu oboch nádob, ktoré určíme z ich rozmerov. Zo známej hustoty vody vypočítame δ . Voda vo vnútri valca sa udržiava na vyššej teplote výhrevnou cievkou C a vnútorná nádoba sa ochladzuje vonkajším kúpeľom, ktorým preteká voda. Ustálenie

teplôt sa urýchli, ak preteká voda pri stálom tlaku, najlepšie rovnako rozloženými otvormi v kruhovej trubici umiestnenej nad vonkajším kúpeľom. Teploty sa merajú presnými teplomermi T_1 a T_2 , ich teplomerné nádobky sú zasunuté v medených objímkach na vonkajšej strane valca V_1 a na vonkajšej strane valca V_2 v strede výšky meranej vrstvy.

Ak je stredná hodnota vrstvy S , jej stredná hrúbka δ a výkon prúdu P , potom hustota ustáleného tepelného prúdu i je

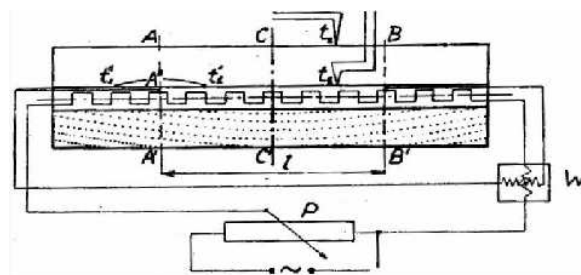
$$i = \frac{Q_1}{S} \quad (15)$$

a podľa vzťahu (11) pre tepelnú vodivosť platí:

$$\lambda = \frac{\delta}{S} \frac{P}{t_1 - t_2} \quad (16)$$

Kde t_1 a t_2 sú teploty vnútorného a vonkajšieho valca. Vzorec je iba približný podobne ako (13), ak nezistíme teplotné skoky medzi povrchom oboch kovových nádob a k nim priľahlú vrstvu meranej látky a ak nezohľadníme aj tepelné straty vzniknuté zdieľaním tepla napr. krytom vnútorného valca.

Pre meranie tepelnej vodivosti hrubozrnných látok (rôzne druhy piesku, drobného štrku, hliny, stavebných hmôt a pod.) je vhodné valcové usporiadanie meracej aparatury Fitchov prístroj obr. 4. V ďalšom texte je uvedený popis pomerne praktickej meracej metódy, ktorú možno použiť na meranie tepelnej vodivosti priamo v teréne.

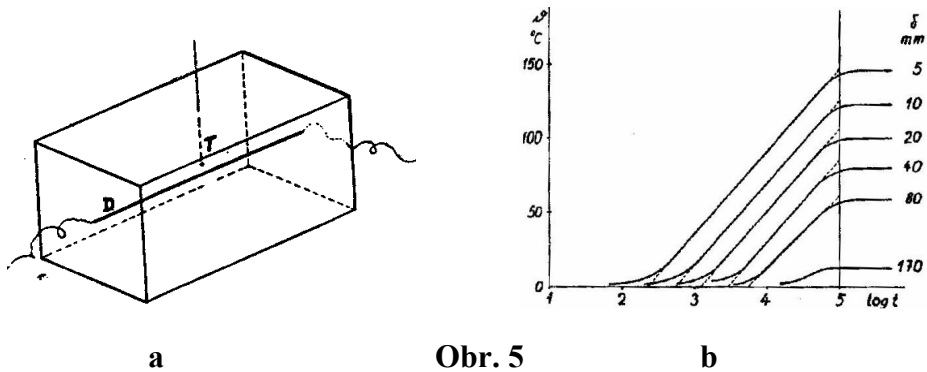


Obr. 4

Schéma merania valcovým prístrojom

Experimentálne zariadenie, na ktorom sa koná meranie touto metódou, ktorú nazývame meranie *metódou horúceho drôtu* (Hot Wire – HW metóda). Usporiadanie metódy horúceho drôtu je pomerne jednoduché. V krabici tvaru kvádra, ktorého dĺžkové

rozmary sú menšie ako 10 cm, je napnutý vodorovný konštantný drôt D (priemeru $\Phi = 0,5 \text{ mm}$), vyhrievaný prúdom, jeho príkon sa meria wattmetrom. Drôt je obklopený meranou sypkou látkou. Termočlánkom T sa meria časový priebeh teploty vzorky v vo vzdialenosti 5 mm až 20 mm od výhrevného drôtu. Rozmery musia byť pomerne malé v porovnaní s rozmermi krabice. Obr. 5 a



a - Princíp metódy horúceho drôtu

b – experimentálne zistenie časového priebehu teploty v sypkej látke pre rôzne vzdialenosti od horúceho drôtu

Z teórie vyplýva, že závislosť teploty v od času t má priebeh znázornený graficky na obr. 5 b, kde na vodorovnej osi sú prirodzené logaritmy času meraného v sekundách od okamihu, kedy drôtom začal prechádzať prúd.

Pozorujeme že krivky zostrojené pre rôzne vzdialenosti δ termočlánku od výhrevného drôtu sú síce navzájom posunuté o dĺžku príslušnú dobám potrebným k rozšíreniu tepelnej vlny do miesta termočlánku, majú však zhruba rovnaký priebeh a tiež sklon ich priamej časti je pre najmenšiu vzdialenosť δ (cca od 5 mm do 20 mm) prakticky u všetkých kriviek rovnaký. To je v súlade s teóriou, z ktorej vyplýva, že smernice priamkovej časti krivky zobrazujúce závislosť v od $\ln t$ je v blízkosti drôtu nezávislá od D a je určená vzorcom (17).

$$\frac{d(v_1 - v_2)}{d \ln \frac{t_2}{t_1}} = \frac{Q_1}{4\pi l \lambda} \quad (17)$$

Kde Q_1 je Joulovo teplo, vyvinuté prúdom za jednotku času vo výhrevnom drôte dĺžky l a λ – je tepelná vodivosť sypkej látky, ktorú vyjadríme zo vzťahu (17). Pre skutočný výpočet je však výhodné vyjadriť výkon P prúdu vo wattoch namiesto

prirodzeného logaritmu $\ln t_2 / t_1$ pomocou dekadického logaritmu $\log t_2 / t_1$. Potom smernicu priamej časti krivky môžeme vyjadriť vzťahom (18).

$$k = \frac{d(v_1 - v_2)}{d \log \frac{t_2}{t_1}} \quad (18)$$

Potom pre tepelnú vodivosť bude podľa vzťahu (17) platiť.

$$\lambda = \frac{Q_1}{4\pi} \frac{\ln 10}{k} \quad (19)$$

Kde dĺžku l meriame v cm. Popísaná metóda horúceho drôtu je klasifikovaná ako nestacionárna meracia metóda rovnako ako Fitchova metóda používaná pre pevné izolanty.

1.3.3. Meranie tepelnej vodivosti kvapalných látok

Tepelnú vodivosť kvapalín možno zmerať doskovými aparatúrami s medzerami presne vymedzenými napr. sklenenými hranolmi resp. je nutné použiť nádobu na meranú vzorku. Medzi vodorovnými doskami sa však udrží kvapalina kapilárnymi silami v dostatočne hrubej vrstve, aby v nej vznikol postačujúci gradient teploty, pretože kvapaliny majú veľmi malú vodivosť. U kvapalín nesmie nastať prúdenie, ktorými by sa prenášala tepelná energia. U viskózných kvapalín (s veľkým koeficientom dynamickej viskozity) nevzniká v tenkých vrstvách poznateľné prúdenie, zvlášť v hrubšie vrstvy, zohrievame preto vždy z hora, aby sa teplejšie vrstvy nemiešali s hustejšími. Kvapalina v kapiláre sa môže zohrievať veľmi tenkým platinovým drôtom, napätým pozdĺž osi kapiláry, z neho sa teplo šíri vedením ku stene kapiláry, pričom nastáva zanedbateľné prúdenie.

1.3.3.1 Aparatúra na meranie tepelnej vodivosti kvapalných látok

Tepelná vodivosť kvapalín sa môže merať s použitím meracieho zariadenia pre sypké látky (obr. 3 b) ak nevzniká značné prúdenie kvapaliny vo zvislej medzere medzi valcami. Vplyv tohto prúdenia ide udržať v medziach presnosti merania, ak je medzera dostatočne veľká, alebo ak je rozdiel teplôt medzi oboma stenami dostatočne malý. Obidve uvedené podmienky sa dajú splniť pre kvapaliny s priemernou viskozitou a zvlášť pre kvapaliny veľmi viskózne, ak zvolíme medzeru asi 2 mm a rozdiel teplôt t_1 a

t_2 okolo 5°C . Vplyv prúdenia podstatne znižuje nepriaznivý vplyv teplotných skokov medzi kvapalinou a stenami nádoby. Tieto skoky totiž znižujú nameranú hodnotu tepelnej vodivosti v porovnaní s jej skutočnou hodnotou a tiež zväčšujú rozdiel teplôt t_1 a t_2 v menovateli zlomku (18). Naproti tomu prúdenie kvapaliny zvyšuje zdánlivú vodivosť kvapaliny. Za takýchto podmienok sa môžu výsledky merania pokladať za správne s krajinou relatívnou chybou 2%. (HORÁK, 1958)

V rámci vlastnej práce boli realizované merania tepelnej vodivosti vybraných druhov biopalív použitím metódy dynamického plošného zdroja, ktorej bližší popis je uvedený v metodike práce. S ohľadom na predmet skúmania je nasledujúca kapitola venovaná problematike biopalív.

1.4 Palivá

Palivom sú všetky látky, pri horení ktorých sa vyvinie značné množstvo tepla, ktoré je možné za súčasného stavu techniky ekonomicky využiť k rôznym technologickým účelom. Palivá predstavujú v podstate slnečnú energiu nahromadenú v nedávnej dobe alebo v praveku.

Palivá musia vyhovovať týmto požiadavkám :

- musia sa vyskytovať v dostatočnom množstve
- ich získavanie, prípadne výroba, musí byť hospodársky únosná
- musí byť možnosť ovládania ich spaľovania
- majú obsahovať čo najmenej nespáliteľných zložiek
- majú byť skladovateľné bez podstatnej zmeny vlastností.

Palivá sa rozdeľujú podľa rozličných kritérií, najčastejšie podľa skupenstva, pôvodu a vzniku použitia. (URL 1)

Palivá môžu byť rozdelené do dvoch kategórií na primárne a sekundárne palivá.

- **Primárne palivá:** palivá, ktoré priamo produkujú teplo na zapaľovanie, sa nazývajú primárny druh palív. Sú zo surového paliva. Príklady sú drevo, zvierací trus, uhlie, ropy, zemného plynu.
- **Sekundárne palivá:** palivá, ktoré sú spracované a pripravené zo surových alebo primárnych palív sa nazývajú sekundárne typy paliva. Príklady sú uhlie, koks, benzín, nafta, petrolej, uhlie, plyn, vodný plyn. (URL 2)

Tab. 2

**Základné rozdelenie palív
(URL 3)**

	pôvod		
	prírodné palivo	umelé palivo	obnoviteľné palivo
tuhé	antracit čierne uhlie hnedé uhlie lignit rašelina drevo	koks uholný prach	brikety pelety slama drevený odpad štiepka piliny rýchlorastúce dreviny
kvapalné	ropa	nafta benzín petrolej vykurovacie oleje dechtové oleje syntetické oleje	mero bioetanol etanol
plynné	zemný plyn sprievodný ropný plyn banský plyn	svietiplyn koksárenský plyn karbonizovaný plyn generátorový plyn vodný mlyn propán-bután	bioplyn skládkovýplyn drevoplyn vodík

1.5 Biomasa

Biomasa je súhrnný názov pre organickú hmotu v pôvodnej prírodnej forme. Energetické využitie biomasy zahŕňa celý súbor možných technologických spôsobov a ciest získavania energie z látok organického pôvodu. Jedná sa o procesy výroby bioplynu, pohonných hmôt (bionafty a bioetanolu), odpadového tepla (napr. z kompostovania), avšak najjednoduchším a najrozšírenejším spôsobom získavania energie z biomasy je jej spaľovanie. Výsledným produktom je tepelná energia. Tá je

následne využité pre vykurovanie, technologické procesy alebo na výrobu elektrickej energie. Aj cez svoje výhody, ako je napr. obnoviteľnosť, nízka cena, široká dostupnosť, má biomasa aj niektoré svoje nevýhody. Zrejme najväčšou nevýhodou je nižšia výhrevnosť v porovnaní s konvenčnými palivami a pri spaľovaní môže tiež dochádzať k tvorbe škodlivých látok. (URL 4) Biomasu delíme z viacerých hľadísk tak, ako je uvedené Tab. 3,4,5.

Tab. 3

Rozdelenie podľa zdroja vzniku biomasy

(URL 5)

Poľnohospodárska biomasa		
<i>na spaľovanie</i>	slamnatá	obilná
		repková
		kukuričná
		slnečnicová
	drevnatá	sady
		vinohrady
trvalé trávnaté porasty		
<i>kvapalné palivá</i>	MERO metylester repkového oleja (bionafta)	
	bioetanol	
<i>bioplyn</i>	siláž	
	Odpad zo živočíšnej výroby	
	odpad z potravinárskych prevádzok	
	Zelená hmota	
Lesná biomasa	palivové drevo, konáre, pne, korene, kôra, piliny	
Komunálna biomasa		
Priemyselná biomasa		

Tab. 4

Rozdelenie biomasy z hľadiska pôvodu

(URL 6)

<i>rastlinná biomasa</i>	<i>dendromasa</i>	<i>drevná biomasa</i>
	<i>fytomasa</i>	<i>jednoročné a viacročné rastliny</i>
<i>živočíšna biomasa</i>	<i>zoomasa</i>	
<i>komunálne a priemyselné odpady</i>		

Tab. 5

Rozdelenie biomasy z hľadiska energetického využitia

(URL 6)

<i>zámerne pestovanú na tento účel</i>	
rýchlorastúce dreviny	
energetické rastliny s vysokým obsahom cukru	
<i>odpadovú</i>	
drevo a drevný odpad	
<i>z lesného hospodárstva</i>	<i>z drevospracujúceho priemyslu</i>
rastlinné odpady z poľnohospodárskej prvovýroby a údržby krajiny	
odpad zo živočíšnej výroby	
komunálne organické odpady	
organické odpady z potravinárskych výrob	

1.5.1.1 Biomasa vhodná pre spaľovanie

Tento typ biomasy sa používa na výrobu tepla na vykurovanie, ohrev teplej úžitkovej a technologickej vody, sušenie poľnohospodárskych produktov, prípadne

výroba elektrickej energie. Medzi biomasu vhodnú na spaľovanie zaraďujeme: fytomasu rastlín napr. slama, drevený odpad zo sadov, vinogradov, nálet drevín na trvalých trávnatých porastoch hlavne v horských a podhorských oblastiach a pod., Ďalšou skupinou vhodnou na spaľovanie sú *energetické* plodiny ako napríklad ozdobnica čínska, cirok, krmný šťavec, konope atď.

Slama

Slama má vyššiu mernú výhrevnosť ako napr. hnedé uhlie. Veľké množstvo slamy vzniká aj u nás a jej energetické využitie by znamenalo zisk v podobe náhrady klasického paliva lacným odpadom. Energetický obsah ukrytý v slame je značný a predstavuje $4,9 \text{ kWh.kg}^{-1}$ suchej hmoty resp. $4,0 \text{ kWh.kg}^{-1}$ pre slamu s vlhkosťou asi 15 %. Energia obsiahnutá v 1 m^3 stlačenej slamy takto predstavuje asi 500 kWh (hustota 120 kg.m^3). (URL 7)

1.5.1.2 Biomasa vhodná na výrobu kvapalných biopalív

Na výrobu kvapalných biopalív sa používa najmä biomasa vo forme metylesterov rastlinných olejov ako zložka do motorovej nafty (repka, slnečnica), alebo vo forme bioalkoholu ako zložka do benzínov (kukurica, obilniny, cukrová repa, zemiaky).

Bioetanol

Komerčne čistý etanol na rastlinnej báze. Je vyrábaný rozkladom a fermentáciou cukrov, škrobu alebo celulózy, ktorá sa nachádza v drevnej hmote. Výroba prvej generácie bioetanolu je na priemyselnej úrovni známa už niekoľko tisíc rokov ako alkoholová fermentácia. Vhodne pripravená surovina s obsahom cukru a škrobu – hlavne kukurica, pšenica, cukrová trstina alebo cukrová repa - sú transformované na alkohol pomocou lúhovania a fermentačného procesu. Potom nasleduje niekoľkonásobná destilácia, čistenie a odvodňovanie a na konci tohto procesu môže byť získaný bioetanol v požadovanej kvalite.

Bionafta

Bionafta, sa označuje nafta s prímiesou metylesteru repkového oleja (MERO) ktorý sa získava chemickými procesmi z repky poprípade iných olejnín. Pre výrobu bionafty môžu byť využité ako základné suroviny rôzne rastlinné oleje, a tiež použitý kuchynský

olej alebo živočíšny tuk. Okrem repkového oleja, ktorý je najpoužívanejšou surovinou v Európe (približne 80 %) sa používajú ako suroviny tiež slnečnicový olej, sójový olej (často používaný v USA) alebo palmový olej, ktorý sa získava z paliem rastúcich v tropických krajinách Ázie. Fyzikálne vlastnosti a aplikačné možnosti závisia od použitého surového oleja. (URL 8)

1.5.1.3 Biomasa vhodná na výrobu bioplynu

Biomasa vhodnou na výrobu bioplynu sú exkrementy hospodárskych zvierat, zelené rastliny siláž a pod. Pre stanovenie kvantifikácie možnej výroby bioplynu je potrebné uvažovať s produkciou tekutých exkrementov hovädzieho dobytku, ošípaných a hydiny. Taktiež treba dbať do úvahy možnosť využívania zelenej rezanky alebo kukuričnej siláže na výrobu bioplynu. Tieto plodiny obsahujú totiž až dvojnásobný energetický potenciál voči exkrementom.

Do kategórie biomasy na výrobu tekutých biopalív možno zaradiť hlavne olejninu a obilniny. Všetky predtým uvedené typy biomasy sa po vhodnej technologickej úprave technologickým zariadením bioplynovej stanice konverzujú na bioplyn. Získaný bioplyn je sa ďalej energeticky využíva v zariadeniach na výrobu tepla resp. elektrickej energie, alebo v kogeneračných jednotkách umožňujúcich kombinovanú výrobu tepla a elektrickej energie. (URL 9)

Tab. 6

Prehľad vstupných materiálov používaných na výrobu bioplynu

(Maga 2008)

Vstupný materiál
exkrementy hospodárskych zvierat
siláž kukuričná, trávna a z iných plodín
zelená hmota
kuchynské odpadky
komunálny biologicky rozložiteľný odpad
odpad z mäsokombinátov
odpady z výroby celulózy
kombinácia predošlých materiálov

1.6 Tuhé biopalivá

Palivá všeobecne sú uhlíkaté látky, ktoré pri spaľovaní uvoľňujú veľké množstvo tepla. Ťažia sa v prírode alebo sa vyrábajú v takom množstve, že sú dostačujúcim zdrojom tepelnej energie. Tuhé palivá majú stále rozhodujúci podiel na výrobe tepelnej energie. Tuhé biopalivá – sú biopalivá, ktoré v podmienkach, pre ktoré sú skladované, dopravované a pripravované pre energetické využitie, sa nachádzajú v tuhom stave. (URL 10)

Tab. 7

Prehľad tuhých biopalív

(URL 4)

tuhé biopalivo	poznámka
<i>kusové drevo</i>	polená bývajú o dĺžke 300 až 500 mm
<i>drevené štiepky</i>	vznikajú prevažne z odpadov pri ťažbe dreva a z rýchle rastúcich drevín
<i>pelety z drevného odpadu</i>	vyrábajú sa z pilín lisovaním
<i>pelety z alternatívnych surovín</i>	vyrábajú sa z cielene pestovaných energetických plodín
<i>brikety z drevného odpadu</i>	vyrábajú sa z pilín a hoblín za nižších tlakov ako pelety
<i>brikety z energetických bylín</i>	
<i>semená plodín</i>	používajú sa semená obilnín nepoužiteľné pre potravinárske alebo kŕmne účely
<i>balíková slama</i>	jedná sa o vedľajší produkt pri pestovaní potravinárskych a priemyslových plodín, ktoré sú inak považované za odpad.

1.6.1. Vybrané druhy analyzovaných vzoriek tuhých biopalív

1.6.1.1 Pelety

Pelety sú relatívne novou formou drevného paliva, ktoré umožnilo kotlom spaľujúcim biomasu ich čiastočnú alebo úplne automatickú prevádzku. Peleta je názov pre granulu kruhového prierezu s priemerom okolo (6 - 8) mm a dĺžkou (10 - 30) mm. Pelety sú vyrobené výhradne z odpadového materiálu bez akýchkoľvek chemických prísad. Lisovaním pod vysokým tlakom sa dosahuje vysoká hustota paliva. Ich veľkou výhodou je, že majú nízky obsah vlhkosti - asi 8 až 10 %. Relatívne vysoká hustota materiálu (min. 650 kg.m⁻³) znamená aj vysokú energetickú hustotu - až 20 MJ.kg⁻¹.

Týmito parametrami sa pelety vyrovnajú uhlíu. Môžu byť uložené v dlhodobom horizonte s menším rizikom pre tvarovanie. (URL 11)

Pelety z tvrdého dreva

Vyrábajú sa vysokotlakovým lisovaním kvalitných pilín len z tvrdého dreva (dub, buk) bez akýchkoľvek lepidiel alebo chemických a iných prísad. Práve fakt, že sú vyrábané z čistých pilín tvrdého dreva im dáva jedinečné vlastnosti, ako sú nízka spotreba, vysoká výhrevnosť, nízky obsah vody a popola, dlhodobá skladovateľnosť. Oproti klasickým konkurenčným peletám z mäkkého dreva majú o vyše 1/3 dlhšiu dobu horenia. Výhrevnosť 18,51 MJ.kg⁻¹, vlhkosť peliet je 6,8 %, popolnosť 0,49 %. (URL 12)

Pelety z mäkkého dreva

Drevné pelety vyrobené z mäkkého dreva, ako borovica, céder alebo smrek sa vyrábajú podobne ako pelety z tvrdého dreva. Vzhľadom k tomu, že mäkké drevo má vyšší obsah vlhkosti ako tvrdé drevo, horí lepšie spočiatku, ale po kratšiu dobu. Peletky z mäkkého dreva poskytujú viac tepelnej energie kvôli vysokému množstvu drevných živíc, ktoré obsahujú, aj keď proces granulovania minimalizuje rozdiely medzi tvrdým a mäkkým drevom. (URL 13)

Alternatívne pelety

Alternatívne pelety sú vyrobené zo slamy (pšenice, jačmeňa, repky) a poľnohospodárskeho odpadu (organický odpad vznikajúci pri priemyselnom čistení a sušení poľnohospodárskych plodín). Požadovaná pevnosť a trvanlivosť alternatívnych peliet sa získava aj pridaním odpadu z repky alebo slnečnice (2 % - 3 % z celkového objemu) k slame a ostatnému poľnohospodárskemu odpadu pri peletizovaní. Tento odpad z olejník znižuje spotrebu elektrickej energie pri výrobe, predlžuje dobu životnosti peletizéra a zvyšuje kvalitu alternatívnych peliet. (URL 14)

Palivové drevo

Veľkou výhodou dreva je, že pri dobrom uložení si uchováva svoj energetický obsah dokonca ho v prvých dvoch až troch rokoch relatívne zvyšuje. Je to tým, že v tomto období vysychá. To je dôležitý fakt, pretože vlhkosť v dreve sa uvoľňuje až v

kotly a to na úkor výhrevnosti. Súčasne pri spaľovaní vlhkého dreva klesá aj teplota spaľovania, čo vedie k nesprávnemu zoxidovaniu všetkých spáliteľných zložiek. Akákoľvek vlhkosť v dreve znižuje realizovateľné teplo tým, že nesie teplo do komína počas odparovania. Dodatočné teplo je stratené cez prchavé kvapaliny a plyny, ktoré sa tvoria pri spaľovaní, líšia sa podľa typu vykurovacej jednotky a mali by byť považované za súčasť faktora efektívnosti vykurovacieho zariadenia. (URL 15)

2 Cieľ práce

V kapitole súčasný stav riešenej problematiky definovať predmet a metódy termodynamiky, uviesť definície vybraných termofyzikálnych veličín. Popísať mechanizmy transportu tepla. Vypracovať prehľad základných typov aparatúr používaných na meranie tepelnej vodivosti materiálov. V druhej časti kapitoly venovať pozornosť problematike palív s dôrazom na biopalivá. Bližšie sa venovať problematike tuhých biopalív a uviesť ich základné charakteristiky. V rámci metodiky uviesť popis experimentálneho zariadenia používaného pri realizácii termofyzikálnych meraní. Vypracovať prehľad meraných vzoriek. V rámci prezentácie výsledkov práce uviesť numerické i grafické vyhodnotenie experimentálnych dát získaných meraním vybraných typov vzoriek biopalív.

3 Metodika práce a metody skúmania

Podmienkou širokého použitia biopalív je, aby splnili všetky technické normy. Normy pre kvalitu biopalív podľa EÚ (Direktíva č. 98/70/EC) obsahuje také technické a environmentálne parametre, ktoré sú v zhode s požiadavkami výrobcov technologických zariadení využívajúcich biopalivá. V rámci kontroly kvality biopalív sa sleduje celé spektrum fyzikálno-chemických vlastností podľa druhu biopaliva, jeho konzistencie a účelu použitia. Napríklad u kvapalných biopalív používaných v automobilovom priemysle sa zisťuje: oktánové číslo, tlak pár, etánové číslo, obsah aromatických uhlíkov, obsah alkoholov, obsah éterov a obsah síry. V prípade tuhých biopalív určených na spaľovanie sa určujú rozmerové charakteristiky, hustota, relatívny obsah vody a spalné teplo. Fyzikálne a chemické vlastnosti biopalív determinujú ich kvalitu a preto v rámci vlastnej práce sa budeme venovať problematike merania vybraných termofyzikálnych parametrov niektorých biopalív prevažne s kompaktnou alebo sypkou štruktúrou.

Na zisťovanie termofyzikálnych vlastností vybraných druhov biopalív bola použitá experimentálna metóda, ktorá umožňuje sledovať závislosti tepelných vlastností materiálov v závislosti od teploty, relatívnej vlhkosti, chemického zloženia materiálu, ale i závislosti od veľkosti fragmentov, sypnej hmotnosti mnohých iných parametrov, ktoré determinujú správanie sa materiálov. V rámci bakalárskej práce boli realizované merania tepelnej vodivosti počas teplotnej stabilizácie tzn. boli merané závislosti od teploty pre rôzne teplotné intervaly vybraných vzoriek biopalív. Ďalšou meranou bola závislosť tepelnej vodivosti od relatívnej vlhkosti. Oba sledované typy termofyzikálnych charakteristík biopalív sú významné z pohľadu ich výroby ale najmä využitia ako energetického zdroja. Získané výsledky umožňujú zostaviť rôzne empirické formuly, ktoré vystihujú vplyv jednotlivých termofyzikálnych parametrov na iné z pohľadu praxe významné vlastnosti.

3.1 Popis meracieho zariadenia na meranie termofyzikálnych parametrov

Na zisťovanie tepelných závislostí materiálov v súčasnosti existuje veľké množstvo meracích metód i meracích zariadení. Jedným z prístrojov, ktoré spĺňajú uvedené požiadavky a slúžia na meranie termofyzikálnych parametrov materiálov ako

v laboratórnych tak i v bežných podmienkach praxi je ISOMET model 104 (Labudová – Kluvanec, 1998), resp. ISOMET model 2104.

Z vyššie uvedených dôvodov bol pri praktickej realizácii meraní použitý prístroj Isomet 2104, ktorý je určený na meranie termofyzikálnych charakteristík celého spektra materiálov s rôznou štruktúrou a zložením. Zariadenie využíva na meranie dve normované meracie metódy, ktoré sa používajú na meranie termofyzikálnych parametrov, najmä tepelnej vodivosti. Prvou meracou metódou je Hot Wire (HW) metóda alebo inak nazývaná metóda horúceho drôtu. Experimentálne usporiadanie tejto metódy vyžaduje použitie líniového zdroja tepla, drôtu, ktorý má v prípade prístroja Isomet 2104 charakter ihlovej sondy, ktorej priemer je zanedbateľne malý v porovnaní s pričným rozmerom vzorky. Druhou normovanou metódou je Dynamic Plane Source (DPS) metóda t.j. metóda dynamického plošného zdroja, ktorej experimentálne usporiadanie vyžaduje použitie plošného zdroja tepla, ktorým je v prípade prístroja Isomet 2104 plošná sonda (APPLIED Precision, 1997).

3.1.1. Isomet typ 104 a typ 2104

ISOMET je mikroprocesorom riadený prístroj, ktorý umožňuje priame meranie koeficientu tepelnej vodivosti, koeficientu teplotnej vodivosti a objemovej tepelnej kapacity. Ako doplnkové merania sú realizované: meranie teploty vzorky, meranie začiatkovej teploty vzorky, konečnej teploty vzorky a tepelného výkonu zdroja. Prístroj je určený na meranie termofyzikálnych parametrov kvapalných, kompaktných i sypkých materiálov.

Prístroj zabezpečuje komunikáciu s užívateľom prostredníctvom klávesnice a displeja formou ponúkaného menu. Namerané a v pamäti uložené hodnoty sa dajú vyexportovať a spracovať použitím vhodného softvérového produktu. Rozsah pracovnej teploty prístroja je 0 °C – 40 °C. Obsah vnútornej pamäte prístroja sa uchováva aj pri odpojení napájania prístroja. Celková kapacita pamäte je 1000 meraní. Napájanie je zabezpečené sieťovým adaptérom, čím je umožnené meranie i priamo v teréne. Merania sa uskutočňujú pomocou výmenných ihlových a plošných sond. Každá sonda disponuje zabudovanou pamäťou, v ktorej sú uložené jej kalibračné konštanty, čím je dosahovaná variabilnosť zostavy prístroja.

Chyby merania od výrobcu sú: pre objemovú tepelnú kapacitu: +/- 15 % hodnoty + $3 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$, pre koeficient tepelnej vodivosti: +/- 10 % hodnoty + $0,005 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

3.1.2. Teoretické základy merania prístrojom Isomet

Meranie termofyzikálnych parametrov λ , α , c_p je založené na analýze priebehu časovej závislosti teplotnej odozvy na tepelné impulzy do analyzovaného materiálu. Meranie sa začína po spustení ohrevu tepelného zdroja – sondy meracieho prístroja. Meracia sonda je tepelne vodivo spojená s analyzovaným materiálom a po splnení okrajových podmienok resp. optimalizácii počiatkových podmienok merania sa regulovaným vyhrievaním sondy elektrickým prúdom začne generovať teplo, ktorého množstvo a tým aj meraný časový priebeh teploty v osi sondy závisí (okrem parametrov sondy) najmä od termofyzikálnych parametrov vzorky. Teplota ohrievaného rezistora sondy je snímaná odporovým spínačom.

Matematický popis teoretických základov merania je uvedený v publikáciách (Landauer, 1997), (Lykov, 1973), (Carslaw – Jeager, 1964).

Pre konkrétny typ sondy (ihlová alebo plošná) a dostatočne dlhý čas t merania môžeme priebeh teploty T v sonde vyjadriť vzťahom (SD) (Blackwell, 1956).

$$T(t) = A \ln(t) + B \quad (20)$$

kde A , B sú parametre závislé od typu sondy a termofyzikálnych vlastností meranej vzorky. Na základe uvedenej rovnice vo vhodne zvolenom časovom intervale je možné určiť lineárnu závislosť medzi parametrami T a $\ln(t)$, pričom parameter A reprezentuje smernicu priamky a je matematicky vyjadrený vzťahom (21).

$$A = \frac{K_1}{A} + H \quad (21)$$

Pre koeficient teplotnej vodivosti je v teoretickom popise základov merania prístrojom Isomet uvedený vzťah:

$$a = \frac{\left\{ \left(K_2 A^2 e^{B/A} \right)^2 + 4 K_3 A e^{B/A} \right\}^{1/2} - K_2 A^2 e^{B/A}}{2} \quad (22)$$

Kde parametre K_1 , K_2 , K_3 , H definované vzťahmi (23-25) reprezentujú konštanty sondy.

$$K_1 = \frac{RI^2}{4\pi L}, \quad K_2 = \frac{m_1 c_1 r_0^2}{8\pi K_1}, \quad K_3 = \frac{r_0^4}{8} \quad (23-25)$$

Kde: R – je elektrický odpor drôtu,

I – je napájací elektrický prúd,

L – je aktívna dĺžka použitej meracej sondy,
 m_l – je hmotnosť dĺžkovej jednotky meracej sondy,
 c_l – je hmotnostná tepelná kapacita sondy,
 r_0 – je charakteristický rozmer meracej sondy.

Hmotnostnú tepelnú kapacitu môžeme vyjadriť zo vzťahu (26):

$$c = \frac{\lambda}{a\rho} \quad (26)$$

kde: ρ - hustota meranej vzorky.

Teoretické základy merania termofyzikálnych parametrov plošnou sondou sú podobné s matematickou formuláciou problému ako pri meraní s ihlovou sondou. Rozdiely sú iba v hodnotách parametrov K_1 , K_2 , K_3 , H , ktoré závisia od typu, konštrukcie a kalibrácie meracej sondy.

3.1.3. Všeobecný popis metódy dynamického plošného zdroja

Na meranie tepelnej vodivosti, teplotnej vodivosti a tepelnej kapacity existuje veľké množstvo meracích metód v nasledujúcej kapitole sa venujeme charakteristike metódy dynamického plošného zdroja, ktorá predstavuje normovanú metódu merania termofyzikálnych veličín a princíp ktorej modifikáciu využíva aj merací prístroj Isomet v experimentálnom usporiadaní s plošnou sondou. Metóda dynamického plošného zdroja (DPS) je založená na pôsobení ideálneho tepelného plošného zdroja, ktorý zároveň plní funkciu teplotného snímača. Jednoduchý teoretický model metódy uvažuje jednorozmerný tepelný tok cez vzorku s konečnými rozmermi. V experimentálnom usporiadaní je meraná vzorka v kontakte s materiálom, ktorý je zlým tepelným vodičom. Metóda dynamického plošného zdroja je vhodná na zisťovanie tepelných vlastností materiálov v intervale tepelných vodivostí od $2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} < \lambda < 200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Pre potreby merania materiálov s nízkou tepelnou vodivosťou sa používa izotermická DPS metóda. Vzorka je v tomto prípade v kontakte s dobrým m vodičom, čo umožňuje definovať izotermické okrajové podmienky experimentu. Izotermická DPS metóda je výhodná predovšetkým pre materiály s tepelnou vodivosťou $\lambda \leq 2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. (Klivanec, 1977).

V teoretickom popise DPS metódy sa predpokladajú experimentálne podmienky

.....

uvedené v nasledujúcej tabuľke (8):

Tab. 8

Základné experimentálne podmienky metódy dynamického plošného zdroja

Experimentálne podmienky DPS metódy
ideálny tepelný zdroj (zanedbateľnej hrúbky a hmotnosti),
ideálny kontakt medzi zdrojom a vzorkou
nulový tepelný odpor medzi povrchom vzorky a dotykovým materiálom
nulové tepelné straty z bokov vzorky

Zdroj tepla je umiestnený, tak že je v kontakte so vzorkou dĺžky L . Ak v čase $t = 0$ s začne pôsobiť tepelný zdroj konštantným tepelným výkonom q na jednotku plochy, potom narastajúci priebeh teploty v závislosti od času vyjadruje rovnica (27, 30).

$$\Delta T(x,t) = \frac{qL}{\lambda\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{t}{\Theta}} \left[1 + 2\sqrt{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \beta^n \operatorname{ierfc} \left(n \sqrt{\frac{\Theta}{t}} \right) \right] \quad (27)$$

$$\beta = \left(\frac{\lambda}{\sqrt{a}} - \frac{\lambda_{Al}}{\sqrt{a_{Al}}} \right) / \left(\frac{\lambda}{\sqrt{a}} + \frac{\lambda_{Al}}{\sqrt{a_{Al}}} \right) \quad (28)$$

$$\Theta = \frac{L^2}{a} \quad (29)$$

Kde: Θ - je charakteristický čas,
 a - je teplotná vodivosť meranej vzorky,
 a_{Al} - je teplotná vodivosť hliníkových blokov.

Pre malé časy ($t < 0,3 \Theta$) rovnica (27) nadobudne zjednodušený tvar

$$\Delta T(x,t) = \frac{q\sqrt{a}}{\lambda\sqrt{\pi}} \sqrt{t}. \quad (30)$$

Rovnica (30) je identická so vzťahom popisujúcim jednorozmerný tepelný tok v nekonečnom homogénnom prostredí.

3.2 Merané vzorky

Pri realizácii meraní boli použité rôzne typy vzoriek tuhých biopalív, peliet a odpadov z nábytkárskej výroby. Boli merané závislosti hmotnostnej objemovej tepelnej kapacity od relatívnej vlhkosti pre vzorky dreva: jelša, dub, buk a červený smrek vid'. Tab. 9. Ďalšími meranými parametrami bola tepelná vodivosť vzoriek, ktorá bola stanovená pre všetky merané materiály.





Tab. 9

Vybrané druhy analyzovaných vzoriek biopalív – rôzne druhy peliet

<i>peliety z mäkkého dreva</i>	<i>peliety z tvrdého dreva</i>
	
<i>peliety vyrobené z repky olejnej</i>	<i>peliety vyrobené z odpadu repky olejnej</i>
	
<i>peliety zo slamy</i>	<i>slama</i>
	

Tab. 10

**Vybrané druhy analyzovaných vzoriek tuhých biopalív –
vzorky kompaktného charakteru (dreva)**

<i>Jelša</i>	<i>dub</i>
	
<i>Buk</i>	<i>červený smrek</i>
	

Tab. 11

**Vybrané druhy analyzovaných vzoriek biopalív odpad z nábytkárskeho výroby –
hoblíny a pyliny**

<i>hoblíny</i>	<i>pyliny</i>
	

4 Výsledky práce

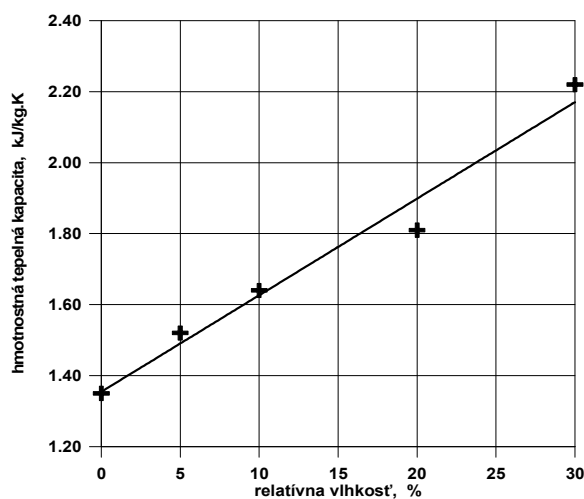
4.1 Hodnoty hmotnostnej tepelnej kapacity pre interval relatívnej vlhkosti (0 - 30) %

4.1.1. Vzorka – drevo jelša

Tab. 12

Hodnoty hmotnostnej tepelnej kapacity
pre interval relatívnej vlhkosti (0 – 30) % vzorka: *jelša*

n	ω %	c $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
1.	0	1,35
2.	5	1,52
3.	10	1,64
4.	20	1,81
5.	30	2,22



Graf 1

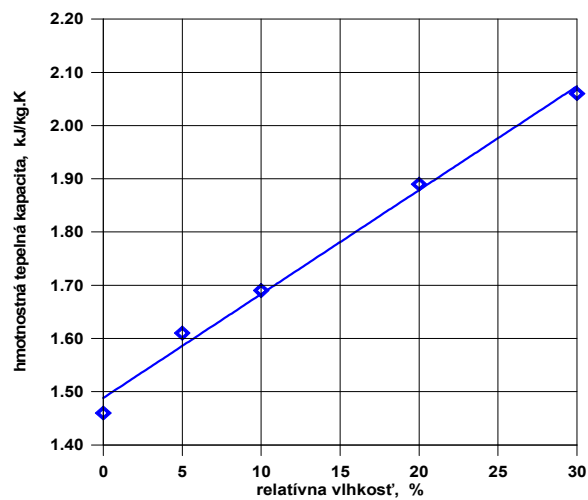
Zobrazenie závislosti hmotnostnej tepelnej kapacity od relatívnej vlhkosti
pre interval vlhkostí (0 – 30) % vzorka: *jelša*

4.1.2. Vzorka – drevo dub

Tab. 13

Hodnoty hmotnostnej tepelnej kapacity
pre interval relatívnej vlhkosti (0 – 30) % vzorka: *dub*

n	ω %	c $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
1.	0	1,46
2.	5	1,61
3.	10	1,69
4.	20	1,89
5.	30	2,06



Graf 2

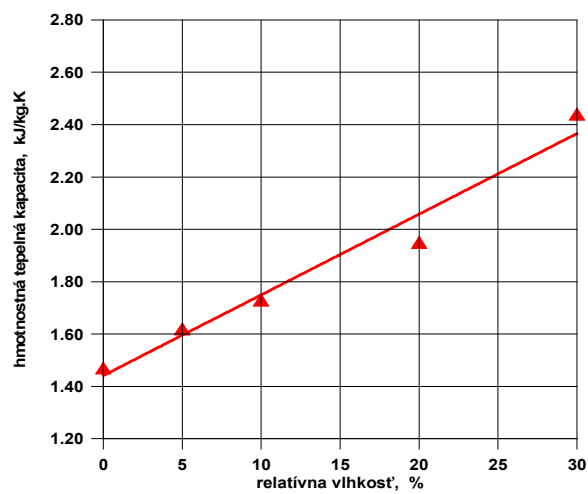
Zobrazenie závislosti hmotnostnej tepelnej kapacity od relatívnej vlhkosti
pre interval vlhkostí (0 – 30) % vzorka: *dub*

4.1.3. Vzorka – drevo buk

Tab. 14

Hodnoty hmotnostnej tepelnej kapacity
pre interval relatívnej vlhkosti (0 – 30) % vzorka: *buk*

n	ω %	c $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
1.	0	1,47
2.	5	1,62
3.	10	1,73
4.	20	1,95
5.	30	2,44



Graf 3

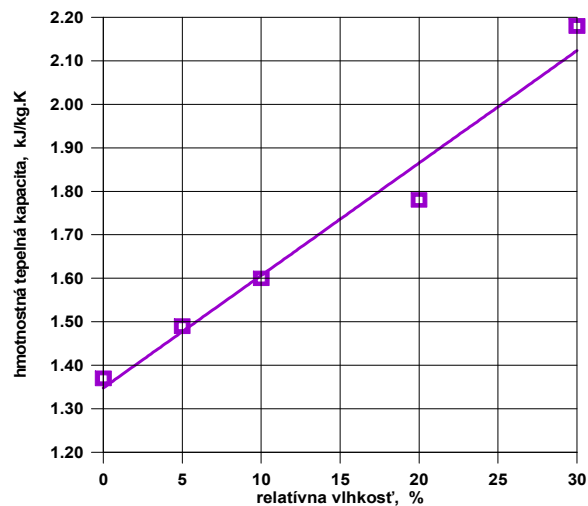
Zobrazenie závislosti hmotnostnej tepelnej kapacity od relatívnej vlhkosti
pre interval vlhkostí (0 – 30) % vzorka: *buk*

4.1.4. Vzorka – drevo červený smrek

Tab. 15

Hodnoty hmotnostnej tepelnej kapacity
pre interval relatívnej vlhkosti (0 – 30) % vzorka: červený smrek

n	ω %	c $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
1.	0	1,37
2.	5	1,49
3.	10	1,60
4.	20	1,78
5.	30	2,18



Graf 4

Zobrazenie závislosti hmotnostnej tepelnej kapacity od relatívnej vlhkosti
pre interval vlhkostí (0 – 30) % vzorka: červený smrek

4.2 Hodnoty teplotnej vodivosti pre interval relatívnej vlhkosti

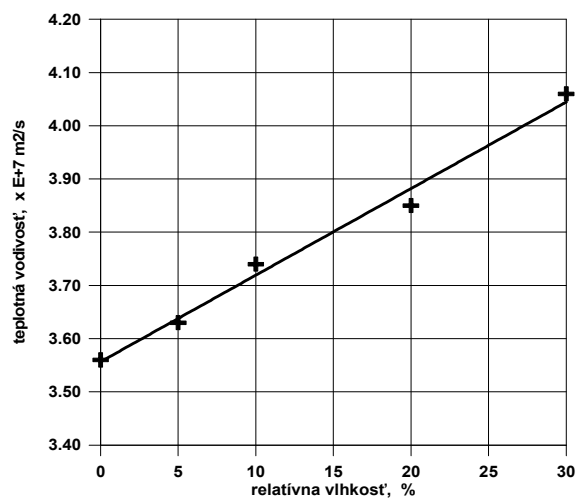
4.2.1. Vzorka – drevo jelša

Tab. 16

Hodnoty teplotnej vodivosti pre interval relatívnej vlhkosti (0 – 30) %

vzorka: *jelša*

n	ω %	a $\cdot 10^7 m^2 \cdot s^{-1}$
1.	0	3,56
2.	5	3,63
3.	10	3,74
4.	20	3,85
5.	30	4,06



Graf 5

Zobrazenie závislosti teplotnej vodivosti pre interval relatívnej vlhkosti (0 – 30) %

vzorka: *jelša*

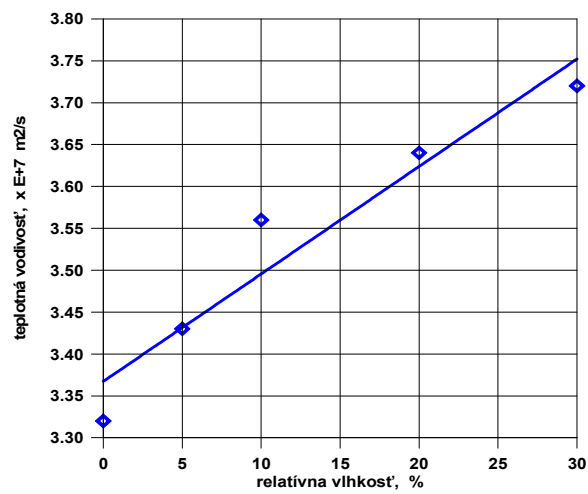
4.2.2. Vzorka – drevo dub

Tab. 17

Hodnoty teplotnej vodivosti pre interval relatívnej vlhkosti (0 – 30) %

vzorka: *dub*

n	ω %	a $\cdot 10^7 m^2 \cdot s^{-1}$
1.	0	3,32
2.	5	3,43
3.	10	3,56
4.	20	3,64
5.	30	4,72



Graf 6

Zobrazenie závislosti teplotnej vodivosti pre interval relatívnej vlhkosti (0 – 30) %

vzorka: *dub*

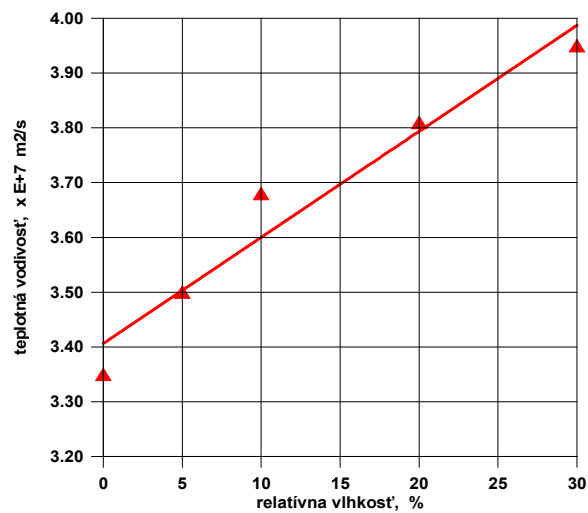
4.2.3. Vzorka – drevo buk

Tab. 18

Hodnoty teplotnej vodivosti pre interval relatívnej vlhkosti (0 – 30) %

vzorka: buk

n	ω %	a $\cdot 10^7 m^2 \cdot s^{-1}$
1.	0	3,35
2.	5	3,50
3.	10	3,68
4.	20	3,81
5.	30	3,95



Graf 7

Zobrazenie závislosti teplotnej vodivosti pre interval relatívnej vlhkosti (0 – 30) %

vzorka: buk

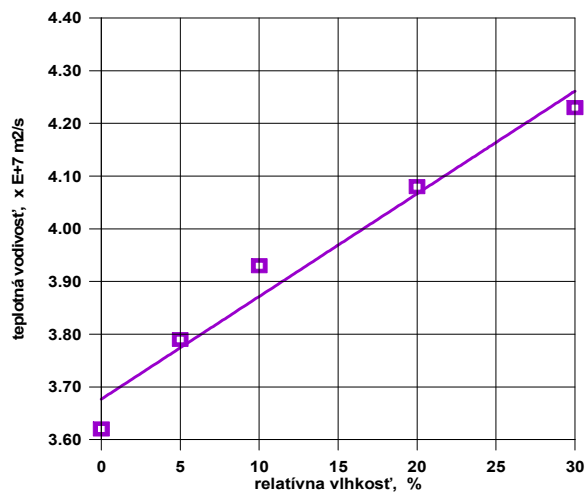
4.2.4. Vzorka – drevo červený smrek

Tab. 19

Hodnoty teplotnej vodivosti pre interval relatívnej vlhkosti (0 – 30) %

vzorka: červený smrek

n	ω %	a $\cdot 10^7 m^2 \cdot s^{-1}$
1.	0	3,62
2.	5	3,79
3.	10	3,93
4.	20	4,08
5.	30	4,23



Graf 8

Zobrazenie závislosti teplotnej vodivosti pre interval relatívnej vlhkosti (0 – 30) %

vzorka: červený smrek

4.3 Hodnoty tepelnej vodivosti

4.3.1. Vzorka – drevo jelša

Tab. 20

Hodnoty tepelnej vodivosti pre vzorku dreva – jelša
meranie v kolmom a rovnobežnom smere

n	meranie v kolmom smere			meranie v rovnobežnom smere		
	λ_k W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda_k)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda_k)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	λ_R W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda_R)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda_R)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹
1.	0,110		-0,0033	0,222	0,02193	
2.	0,105	0,0017		0,247		-0,0031
3.	0,107		-0,0003	0,245		-0,0011
4.	0,106	0,0007		0,246		-0,0021
5.	0,107		-0,0003	0,246		-0,0021
6.	0,109		-0,0023	0,246		-0,0021
7.	0,103	0,0037		0,243	0,00093	
8.	0,107		-0,0003	0,245		-0,0011
9.	0,107		-0,0003	0,243	0,00093	
10.	0,107		-0,0003	0,244		-0,0001
11.	0,107		-0,0003	0,245		-0,0011
12.	0,107		-0,0003	0,246		-0,0021
13.	0,105	0,0017		0,246		-0,0021
14.	0,106	0,0007		0,247		-0,0031
15.	0,107		-0,0003	0,248		-0,0041
	$\sum_i \lambda_{ki}$ 1,6	$\sum \Delta_+(\lambda_k)$ 0,0085	$\sum \Delta_-(\lambda_k)$ -0,008	$\sum_i \lambda_{Ri}$ 3,659	$\sum \Delta_+(\lambda_R)$ 0,0238	$\sum \Delta_-(\lambda_R)$ -0,0242

k – index označujúci meranie v kolmom smere
R – index označujúci meranie v rovnobežnom smere

Príklad výpočtu a výsledky pre meranie v kolmom smere:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

$$\bar{\lambda}_k = \frac{1}{15} \cdot 1,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\bar{\lambda}_k = 0,10667 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}(\lambda_k) = \pm \frac{5 \sum \Delta_+(\lambda_k)}{3n \sqrt{n-1}}$$

$$\bar{\vartheta}(\lambda_k) = \pm \frac{5 \cdot 0,0085 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}{3 \cdot 15 \sqrt{15-1}}$$

$$\bar{g}(\lambda_k) = \pm 0,00025 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{g}_{r\%}(\lambda_k) = \pm \frac{\bar{g}(\lambda_k)}{\bar{\lambda}_k} \cdot 100 \%$$

$$\bar{g}_{r\%}(\lambda_k) = \pm \frac{0,00025 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}{0,10667 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} \cdot 100 \%$$

$$\bar{g}_{r\%}(\lambda_k) = \pm 2,34 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda_k = \bar{\lambda}_k + \bar{g}(\lambda_k)$$

$$\lambda_k = (0,106667 \pm 0,00025) \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\lambda_k = \bar{\lambda}_k + \bar{g}_{r\%}(\lambda_k)$$

$$\lambda_k = 0,1 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \pm 2,34 \%$$

Príklad výpočtu a výsledky pre meranie v rovnobežnom smere:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda}_R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

$$\bar{\lambda}_R = \frac{1}{15} \cdot 3,659 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\bar{\lambda}_R = 0,243933 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{g}(\lambda_R) = \pm \frac{5 \sum \Delta_+(\lambda_R)}{3n \sqrt{n-1}}$$

$$\bar{g}(\lambda_R) = \pm \frac{5 \cdot 0,0238 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}{3 \cdot 15 \sqrt{15-1}}$$

$$\bar{g}(\lambda_R) = \pm 0,000706 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{g}_{r\%}(\lambda_R) = \pm \frac{\bar{g}(\lambda_R)}{\bar{\lambda}_R} \cdot 100 \%$$

$$\bar{g}_{r\%}(\lambda_R) = \pm \frac{0,000706 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}{0,243933 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} \cdot 100 \%$$

$$\bar{g}_{r\%}(\lambda_R) = \pm 0,28 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda_R = \bar{\lambda}_R + \bar{\mathcal{G}}(\lambda_R)$$

$$\lambda_R = (0,243933 \pm 0,000706) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda_R = \bar{\lambda}_R + \bar{\mathcal{G}}_{r\%}(\lambda_R)$$

$$\lambda_R = 0,24 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \pm 0,28 \%$$

4.3.2. Vzorka – drevo dub

Tab. 21

Hodnoty tepelnej vodivosti pre vzorku dreva – dub

meranie v kolmom a rovnobežnom smere

n	meranie v kolmom smere			meranie v rovnobežnom smere		
	λ_k W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda_k)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda_k)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	λ_R W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda_R)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda_R)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹
1.	0,191	0,0019		0,485	0,0013	
2.	0,190	0,0029		0,483	0,0033	
3.	0,192	0,0009		0,487		-0,0007
4.	0,194		-0,0011	0,482	0,0043	
5.	0,196		-0,0031	0,483	0,0033	
6.	0,195		-0,0021	0,485	0,0013	
7.	0,195		-0,0021	0,487		-0,0007
8.	0,193		-0,0001	0,488		-0,0017
9.	0,192	0,0009		0,486	0,0003	
10.	0,195		-0,0021	0,485	0,0013	
11.	0,192	0,0009		0,487		-0,0007
12.	0,191	0,0019		0,487		-0,0007
13.	0,192	0,0009		0,489		-0,0027
14.	0,192	0,0009		0,491		-0,0047
15.	0,194		-0,0011	0,490		-0,0037
	$\sum_i \lambda_{ki}$ 2,894	$\sum \Delta_+(\lambda_k)$ 0,0112	$\sum \Delta_-(\lambda_k)$ -0,0117	$\sum_i \lambda_{Ri}$ 7,295	$\sum \Delta_+(\lambda_R)$ 0,0151	$\sum \Delta_-(\lambda_R)$ -0,0156

k – index označujúci meranie v kolmom smere
R – index označujúci meranie v rovnobežnom smere

Výsledky pre meranie v kolmom smere:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda}_k = 0,192933 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\mathcal{G}}(\lambda_k) = \pm 0,00033 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\mathcal{G}}_{r\%}(\lambda_k) = \pm 0,17 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda_k = (0,192933 \pm 0,00033) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda_k = 0,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \pm 0,17 \%$$

Výsledky pre meranie v rovnobežnom smere:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda}_R = 0,486333 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}(\lambda_R) = \pm 0,00044 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}_{r\%}(\lambda_R) = \pm 0,09 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda_R = (0,486333 \pm 0,00044) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda_R = 0,49 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \pm 0,09 \%$$

4.3.3. Vzorka – drevo buk

Tab. 22

Hodnoty tepelnej vodivosti pre vzorku dreva : buk
meranie v kolmom a rovnobežnom smere

n	meranie v kolmom smere			meranie v rovnobežnom smere		
	λ_k W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda_k)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda_k)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	λ_R W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda_R)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda_R)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹
1.	0,206	0,0052		0,532		-0,0075
2.	0,208	0,0032		0,534		-0,0095
3.	0,206	0,0052		0,530		-0,0055
4.	0,209	0,0022		0,529		-0,0045
5.	0,211	0,0002		0,510	0,0145	
6.	0,210	0,0012		0,515	0,0095	
7.	0,212		-0,0008	0,518	0,0065	
8.	0,217		-0,0058	0,520	0,0045	
9.	0,214		-0,0028	0,521	0,0035	
10.	0,215		-0,0038	0,527		-0,0025
11.	0,218		-0,0068	0,532		-0,0075
12.	0,210	0,0012		0,534		-0,0095
13.	0,212		-0,0008	0,536		-0,0115
14.	0,210	0,0012		0,540		-0,0155
15.	0,210	0,0012		0,542	0,0345	
	$\sum_i \lambda_{ki}$ 3,168	$\sum \Delta_+(\lambda_k)$ 0,0208	$\sum \Delta_-(\lambda_k)$ -0,0208	$\sum_i \lambda_{Ri}$ 7,868	$\sum \Delta_+(\lambda_R)$ 0,0385	$\sum \Delta_-(\lambda_R)$ -0,0772
<i>k</i> – index označujúci meranie v kolmom smere <i>R</i> – index označujúci meranie v rovnobežnom smere						

Výsledky pre meranie v kolmom smere:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda}_k = 0,2112 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}(\lambda_k) = \pm 0,00062 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}_{r\%}(\lambda_k) = \pm 0,29 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda_k = (0,2112 \pm 0,00062) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda_k = 0,21 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \pm 0,29 \%$$

Výsledky pre meranie v rovnobežnom smere:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda}_R = 0,524533 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}(\lambda_R) = \pm 0,0011 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}_{r\%}(\lambda_R) = \pm 0,21 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda_R = (0,524533 \pm 0,0011) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda_R = 0,52 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \pm 0,21 \%$$

4.3.4. Vzorka – drevo červený smrek

Tab. 23

Hodnoty tepelnej vodivosti pre vzorku dreva : červený smrek
meranie v kolmom a rovnobežnom smere

n	meranie v kolmom smere			meranie v rovnobežnom smere		
	λ_k W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda_k)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda_k)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	λ_R W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda_R)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda_R)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹
1.	0,168	0,0038		0,428	0,0009	
2.	0,170	0,0018		0,430		-0,0011
3.	0,169	0,0028		0,432		-0,0031
4.	0,173		-0,0012	0,428	0,0009	
5.	0,173		-0,0012	0,427	0,0019	
6.	0,173		-0,0012	0,427	0,0019	
7.	0,173		-0,0012	0,426	0,0029	
8.	0,173		-0,0012	0,427	0,0019	
9.	0,174		-0,0022	0,428	0,0009	
10.	0,172		-0,0002	0,430		-0,0011
11.	0,172		-0,0002	0,430		-0,0011
12.	0,170	0,0018		0,431		-0,0021
13.	0,173		-0,0012	0,430		-0,0011
14.	0,172		-0,0002	0,430		-0,0011
15.	0,172		-0,0002	0,430		-0,0011
	$\sum_i \lambda_{ki}$ 2,577	$\sum \Delta_+(\lambda_k)$ 0,0102	$\sum \Delta_-(\lambda_k)$ -0,0102	$\sum_i \lambda_{Ri}$ 6,434	$\sum \Delta_+(\lambda_{Ri})$ 0,0113	$\sum \Delta_-(\lambda_{Ri})$ -0,0118

k – index označujúci meranie v kolmom smere
R – index označujúci meranie v rovnobežnom smere

Výsledky pre meranie v kolmom smere:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda}_k = 0,1718 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}(\lambda_k) = \pm 0,00030 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}_{r\%}(\lambda_k) = \pm 0,17 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda_k = (0,1718 \pm 0,00030) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda_k = 0,17 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \pm 0,17 \%$$

Výsledky pre meranie v rovnobežnom smere:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda}_R = 0,428933 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}(\lambda_R) = \pm 0,00033 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}_{r\%}(\lambda_R) = \pm 0,08 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda_R = (0,428933 \pm 0,00033) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda_R = 0,43 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \pm 0,08 \%$$

4.3.5. Hodnoty tepelnej vodivosti pre vzorky peletiek z mäkkého a tvrdého dreva**Tab. 24**

Hodnoty tepelnej vodivosti pre vzorky: peletky z mäkkého a tvrdého dreva

n	peletky z mäkkého dreva d= (6-8 mm), h= 25mm			peletky z tvrdého dreva d= (6 mm), h= 20mm		
	λ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	λ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹
1.	0,181	0,0013		0,252	0,0046	
2.	0,183		-0,0007	0,254	0,0026	
3.	0,180	0,0023		0,253	0,0036	
4.	0,181	0,0013		0,253	0,0036	
5.	0,181	0,0013		0,254	0,0026	
6.	0,181	0,0013		0,257		-0,0004
7.	0,182	0,0003		0,256	0,0006	
8.	0,181	0,0013		0,257		-0,0004
9.	0,181	0,0013		0,255	0,0016	
10.	0,183		-0,0007	0,257		-0,0004
11.	0,183		-0,0007	0,258		-0,0014
12.	0,183		-0,0007	0,259		-0,0024
13.	0,183		-0,0007	0,261		-0,0044
14.	0,185		-0,0027	0,263		-0,0064
15.	0,186		-0,0037	0,260		-0,0034
	$\sum_i \lambda_i$ 2,734	$\sum \Delta_+(\lambda)$ 0,0104	$\sum \Delta_-(\lambda)$ -0,0099	$\sum_i \lambda_i$ 3,849	$\sum \Delta_+(\lambda)$ 0,0192	$\sum \Delta_-(\lambda)$ -0,0192

Výsledky pre meranie peletiek z mäkkého dreva:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda} = 0,182267 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}(\lambda) = \pm 0,00031 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}_{r\%}(\lambda) = \pm 0,17 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda = (0,182267 \pm 0,00031) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda = 0,18 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \pm 0,17 \%$$

Výsledky pre meranie peletiek z tvrdého dreva:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda} = 0,2566 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}(\lambda) = \pm 0,00057 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}_{r\%}(\lambda) = \pm 0,002 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda = (0,2566 \pm 0,00057) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda = 0,26 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \pm 0,002 \%$$

4.3.6. Hodnoty tepelnej vodivosti pre vzorky peletiek z repky olejnej a odpadu repky olejnej

Tab. 25

Hodnoty tepelnej vodivosti pre vzorky: peletky
z repky olejnej a odpadu repky olejnej

n	peletky vyrobené z odpadu repky olejnej d= (6-8 mm), h= 70 mm			peletky z repky olejnej d= (9 mm), h= 30 mm		
	λ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	λ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹
1.	0,160		-0,0001	0,157		-0,0001
2.	0,162		-0,0021	0,155	0,0019	
3.	0,162		-0,0021	0,158		-0,0011
4.	0,162		-0,0021	0,156	0,0009	
5.	0,158	0,0019		0,157		-0,0001
6.	0,155	0,0049		0,157		-0,0001
7.	0,160		-0,0001	0,158		-0,0011
8.	0,160		-0,0001	0,157		-0,0001
9.	0,159	0,0009		0,157		-0,0001
10.	0,159	0,0009		0,157		-0,0001
11.	0,160		-0,0001	0,156	0,0009	
12.	0,161		-0,0011	0,158		-0,0011
13.	0,160		-0,0001	0,157		-0,0001
14.	0,160		-0,0001	0,157		-0,0001
15.	0,161		-0,0011	0,157		-0,0001
	$\sum_i \lambda_i$ 2,399	$\sum \Delta_+(\lambda)$ 0,0086	$\sum \Delta_-(\lambda)$ -0,0091	$\sum_i \lambda_i$ 2,354	$\sum \Delta_+(\lambda)$ 0,0037	$\sum \Delta_-(\lambda)$ -0,0042

Výsledky pre meranie peletiek vyrobených z odpadu repky olejnej:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda} = 0,159933 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}(\lambda) = \pm 0,00026 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}_{r\%}(\lambda) = \pm 0,16 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda = (0,159933 \pm 0,00026) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda = 0,16 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \pm 0,16 \%$$

Výsledky pre meranie peletiek vyrobených z repky olejnej:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda} = 0,156933 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}(\lambda) = \pm 0,000205 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}_{r\%}(\lambda) = \pm 0,13 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda = (0,156933 \pm 0,000205) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda = 0,15 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \pm 0,13 \%$$

4.3.7. Hodnoty tepelnej vodivosti – vzorka slamy a peletiek vyrobených zo slamy

Tab. 26

Hodnoty tepelnej vodivosti pre vzorky: slamy a peletky vyrobé zo slamy

n	slama			peletky zo slamy d= (8 mm), h= 20 mm		
	λ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	λ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹
1.	0,065	0,0003		0,025		-0,0001
2.	0,060	0,0053		0,028		-0,0031
3.	0,065	0,0003		0,027		-0,0021
4.	0,067		-0,0017	0,025		-0,0001
5.	0,060	0,0053		0,025		-0,0001
6.	0,061	0,0043		0,027		-0,0021
7.	0,063	0,0023		0,020	0,0049	
8.	0,065	0,0003		0,024	0,0009	
9.	0,068		-0,0027	0,025		-0,0001
10.	0,069		-0,0037	0,024	0,0009	0,0009
11.	0,068		-0,0027	0,024	0,0009	0,0009
12.	0,070		-0,0047	0,025		-0,0001
13.	0,066		-0,0007	0,025		-0,0001
14.	0,067		-0,0017	0,025		-0,0001
15.	0,066		-0,0007	0,025		-0,0001
	$\sum_i \lambda_i$ 0,98	$\sum \Delta_+(\lambda)$ 0,0181	$\sum \Delta_-(\lambda)$ -0,0186	$\sum_i \lambda_i$ 0,374	$\sum \Delta_+(\lambda)$ 0,0076	$\sum \Delta_-(\lambda)$ -0,0063

Výsledky pre meranie slamy:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda} = 0,065333 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}(\lambda) = \pm 0,00054 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}_{r\%}(\lambda) = \pm 0,82 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda = (0,065333 \pm 0,00054) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda = 0,065 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \pm 0,82 \%$$

Výsledky pre meranie peletiek vyrobených zo slamy:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda} = 0,024933 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}(\lambda) = \pm 0,00022 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}_{r\%}(\lambda) = \pm 0,88 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda = (0,024933 \pm 0,00022) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda = 0,025 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \pm 0,88 \%$$

4.3.8. Hodnoty tepelnej vodivosti pre vzorku odpadu pri výrobe MERA

Tab. 27

Hodnoty tepelnej vodivosti - vzorka: odpad pri výrobe MERA

n	λ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_+(\lambda)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$\Delta_-(\lambda)$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹
1.	0,122	0,0037	
2.	0,127		-0,0013
3.	0,126		-0,0003
4.	0,125	0,0007	
5.	0,128		-0,0023
6.	0,126		-0,0003
7.	0,126		-0,0003
8.	0,126		-0,0003
9.	0,126		-0,0003
10.	0,126		-0,0003
11.	0,126		-0,0003
12.	0,126		-0,0003
13.	0,126		-0,0003
14.	0,125	0,0007	
15.	0,125	0,0007	
	$\sum_i \lambda_i$ 1,886	$\sum \Delta_+(\lambda)$ 0,0058	$\sum \Delta_-(\lambda)$ -0,0063

Výsledky pre meranie MERA:

Aritmetický priemer:

$$\bar{\lambda} = 0,125733 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}(\lambda) = \pm 0,00017 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Relatívna pravdepodobná chyba aritmetického priemeru:

$$\bar{\vartheta}_{r\%}(\lambda) = \pm 0,14 \%$$

Zápis skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny:

$$\lambda = (0,125733 \pm 0,00017) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda = 0,012 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \pm 0,14 \%$$

Zhodnotenie experimentálne získaných výsledkov

Vo všeobecnosti možno realizované merania termofyzikálnych parametrov rozdeliť do troch skupín, na meranie vzoriek kompaktného charakteru, meranie peletiek a meranie sypkých vzoriek. V prvej etape boli zisťované závislosti hmotnostnej tepelnej

kapacity c od relatívnej vlhkosti ω v intervale vlhkostí $(0 - 30) \%$ pre vzorky dreva: jelša, buk, dub a červený smrek. Zo závislostí $c = f(\omega)$ prezentovaných v grafoch 1 – 4 je zrejmé, že hmotnostná tepelná kapacita s narastajúcim obsahom vody v dreve rastie, čoho príčinou je najmä pomerne vysoká hodnota hmotnostnej tepelnej kapacity vody $4186 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Ďalej bolo zistené, že pre vzorky tvrdého dreva sú hodnoty hmotnostnej tepelnej kapacity vyššie ako pre vzorky mäkkého dreva, čo je v súlade s výsledkami uvádzanými v literatúre (Perelygin, 1965). V druhej etape boli vyhodnotené závislosti teplotnej vodivosti a od relatívnej vlhkosti ω v identickom intervale relatívnej vlhkosti $(0 - 30) \%$. Všetky experimentálne získané závislosti $a = f(\omega)$ majú lineárne rastúci charakter (grafy 5 - 8). Najnižšiu teplotnú vodivosť mala vzorka buk $a = (3,35 - 3,95).10^7 \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ a najvyššia hodnota bola nameraná pre vzorku dub $a = (3,32 - 4,72).10^7 \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$. Tepelná vodivosť λ bola meraná pre všetky predtým uvedené vzorky dreva v priečnom tzn. kolmom i v pozdĺžnom tzn. rovnobežnom smere. Zo všetkých získaných hodnôt uvedených v tabuľkách 20 – 23 je zrejmé, že pri merní v rovnobežnom smere je hodnota tepelnej vodivosti λ_R približne 2,5 násobkom tepelnej vodivosti v kolmom smere λ_k , čo je v súlade s výsledkami prezentovanými autorom (Regináč, 1990).

Druhou meranou skupinou vzoriek boli peletky líšiace sa rozmermi a najmä zložením. Pre peletky z mäkkého dreva $\bar{\lambda} = 0,2566 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a pre peletky z tvrdého dreva $\bar{\lambda} = 0,1823 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Ďalej bola zisťovaná tepelná vodivosť peletiek z odpadu repky olejnej $\bar{\lambda} = 0,1599 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a peletiek vyrobených z repky olejnej, pre ktorá bola zistená tepelná vodivosť $\bar{\lambda} = 0,1569 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, keďže výsledky doteraz neboli publikované, nemožno ich porovnať, ale z uvedených hodnôt je zrejmé, že ich tepelné vodivosti sú veľmi podobné. Poslednými meranými boli peletky zo slamy, ktorých tepelná vodivosť vykazovala najnižšiu nameranú hodnotu $\bar{\lambda} = 0,02493 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Pre sypké materiály, medzi ktoré bola zaradená slama, hobliny a piliny boli namerané nasledovné hodnoty tepelnej vodivosti: slama - $\bar{\lambda} = 0,06533 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, hobliny - $\bar{\lambda} = 0,0584 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, a piliny $\bar{\lambda} = 0,0748 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Z výsledkov vyplýva, že vo všeobecnosti sypké materiály majú najnižšiu tepelnú vodivosť vzhľadom na zloženie, fragmentové usporiadanie a prítomnosť vzduchových medzier medzi fragmentami.

Záver

Biopalivá, ktorých termofyzikálnym vlastnostiam je venovaná predkladaná bakalárska práca sú jedným z významných zdrojov energie. Ich používanie je v súčasnosti stále viac preferované, nakoľko sú pomerne ekologickým zdrojom energie, ktorý produkuje minimum emisií, najviac výroba energie z biomasy je neutrálna aj k tvorbe skleníkových plynov, nezhoršuje životné prostredie, ale naopak znižuje produkciu odpadov. Biopalivá ako jeden z najvýznamnejších obnoviteľných zdrojov energie predstavujú možnosti pre ekonomický rast vidieckych regiónov a aktivujú rozvoj nových vedných odborov. Biopalivá sú široko dostupné a ich množstvo využívané v praxi neustále rastie. Z uvedených dôvodov je nutné poznanie ich fyzikálnych vlastností. Keďže biopalivá sú v procese spracovania a skladovania podrobené najmä mechanickej a tepelnej manipulácii, je potrebné poznať ich termofyzikálne a mechanické charakteristiky. Preto sa v bakalárskej práci venujeme experimentálnemu skúmaniu termofyzikálnych parametrov vybraných druhov biopalív.

V rámci splnenia cieľa práce sú v kapitole súčasný stav riešenej problematiky definované predmet a metódy termodynamiky, sú zároveň uvedené definície vybraných termofyzikálnych veličín, sú popísané mechanizmy transportu tepla. Ďalej je vypracovaný prehľad základných typov aparatúr používaných na meranie tepelnej vodivosti materiálov. V druhej časti prehľadu o súčasnom stave riešenej problematiky je pozornosť venovaná problematike palív s dôrazom na biopalivá, pričom bližšie sa práca venuje najmä problematike tuhých biopalív, pri ktorých sú uvedené aj ich základné charakteristiky. V rámci metodiky je prezentovaný popis experimentálneho zariadenia používaného pri realizácii termofyzikálnych meraní, ďalej je vypracovaný prehľad meraných vzoriek biopalív. V rámci prezentácie výsledkov sú uvedené numerické i grafické vyhodnotenia experimentálnych dát získaných meraním vybraných typov vzoriek biopalív.

Poznanie termofyzikálnych parametrov biopalív je nevyhnutné pre zabezpečenie optimalizácie procesov výroby, skladovania a spracovania biopalív. Výsledky získané v rámci realizácie bakalárskej práce môžu byť použité v praktických aplikáciách. Napríklad pri hodnotení kvality biopalív a návrhu technologických postupov.

Použitá literatúra

1. APPLIED Precision. 1997. Uživatelská příručka Isomet 104. Applied Precision 1997, 30 s.
2. BLACKWELL, J. H. 1956. The axial – flow error in the thermal – conductivity probe. *Canad. J. Phys.*, 34, 1956. 905 s.
3. CARSLAW, H. S. - JEAGER, J. C. – LYKOV. 1959. *Conduction of heat in solids*. Oxford University Press, United Kingdom, 484 pp.
4. HAJKO, V. - SZABÓ, J. 1980 *Základy fyziky /*. 1. vyd. Bratislava : Veda, 1980. 575 s.
5. HALLIDAY, D. – RENICK, R. – WALKER, J. 2003. *Fyzika 2. část Molekulová fyzika a termika. Vitium a Prometheus, Brno 2003. (Preklad z AJ). ISBN 80-214-1868-0, s. 329 – 577.*
6. HORÁK, Z. 1958. *Praktická Fyzika*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1958, 621 s.
7. KLUNAVEC, D. 1977. Impulzná metóda merania termofyzikálnych parametrov disperzných látok so zameraním na elektrotechnickú keramiku. In: *Zborník Pedagogickej fakulty v Nitre – matematika a fyzika, č. 27, SPN Bratislava 1977, s.233-247.*
8. LABUDOVÁ, G., KLUVANEC, D. 1998. *Zborník z vedecko – odborného seminára k 45. výročiu vyučovania fyziky na SPU v Nitre, MF SPU Nitra, 1998, s. 53.*
9. LANDAUER, R. 1997. *Models for thermal conductivity. Proceed. Conf. On electrical and Optical Properties of Inhomogenous media. Columbus - The Ohio State Univerzity, 1997.*
10. MAGA, Juraj a kol. 2008. *Využitie rastlinnej a drevnej biomasy na výrobu tepla. Nitra 2008. ISBN 978-80.552-0029-3*
11. PERELYGIN, L.M. 1965. *Science of Wood. HSPH Moskva, ISBN 101-285-726, 199 s.*
12. REGINÁČ, L. a kol. 1990. *Náuka o dreve II. 5. vydanie. Zvolen: VŠLD, Zvolen, 424 s.*
13. TRNKA, J. – URBAN, J.: *Spaľovacie motory*. Alfa Bratislava, 1992.
14. VEIS, Š. – Maďar, J. – MARTIŠOVITŠ, V. 1978. *Všeobecná fyzika 1 – Mechanika a molekulová fyzika. ALFA Bratislava, 1978. 471 s.*
15. SUPEKOVÁ, J. 2010 *Diplomová Práca . SPU Nitra, 2010. 90 s.*

Zdroje URL dostupné na internete:

URL 1 *metallurgy.tuomatu*. 2008 [online] Hutnícka fakulta TU v Košice. [cit. 2011-15-03].

Dostupné na: < <http://www.metallurgy.tuomatu.com/down/tthp/paliva.pdf>>.

URL 2 *All Amich Furniture*. 2005 [online] Copyright Educational Electronics Inc. [cit. 2011-15-03].

Dostupné na: <<http://www.educationalelectronicsusa.com/c/fuels-I.htm>>.

URL 3 *Ostrovského*. 2003 [online] Ing Marta Bieliková, Stredné odborné učilište stavebné. 2011 [cit. 2011-15-03].

Dostupné na: < <http://www.ostrovskeho.sk/sou/vykurovanie/druhy.htm>>.

URL 4 *HZSČR*. 2010 [online] Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. 2010 [cit. 2011-15-03].

Dostupné na: < <http://www.hzscr.cz/soubor/m-perdochova-vliv-samozahrivani-pevneho-paliva-z-biomasy-na-kvalitu-paliva-a-bezpecnost-jeho-skladovani-pdf.aspx>>.

URL 5 *agrobiomasa*. 2010 [online] [cit. 2011-15-03].

Dostupné na:< <http://www.agrobiomasa.sk/?s=1> >.

URL 6 *Podpora lokálneho vykurovania biomasou*. 2006 [cit. 2011-15-03].

Dostupné na:< http://www.biomasa-info.sk/docs/05jandacka_s.pdf>.

URL 7 *inforse*. [online] [cit. 2011-15-03].

Dostupné na:< <http://www.inforse.dk/europe/fae/OEZ/biomasa/biomasa.html>>.

URL 8 *Slovnaft*. 2006 [online] [cit. 2011-15-03].

Dostupné na:< <http://www.slovnaft.sk/repository/408966.pdf>>.

URL 9 *TECHNICKÝ A SKÚŠOBNÝ ÚSTAV PÔDOHOSPODÁRSKY*. 2010 [online] [cit. 2011-15-03].

Dostupné na:< http://www.tsup.sk/files/zvs_9.pdf>.

URL 10 *Wikipédia*. 2001 [online] Jimmy Wales, Larry Sanger, Wikimedia Foundation. 2011. [cit. 2011-18-03].

Dostupné na: < http://sk.wikipedia.org/wiki/Tuhé_palivo>.

URL 11 *eltex*. 2009 [online] P.B. ARTEMIS s r.o. [cit. 2011-18-03].

Dostupné na: <<http://www.tepelnecerpadla.com/literatura/biomasa.pdf>>.

URL 12 *eHOW*. 1999 [online] Damand Media, as 2011 [cit. 2011-18-03].

Dostupné na: <http://www.ehow.com/about_6312861_wood-wood-vs_-hard-wood.html>.

URL 13 *eHOW*. 1999 [online] Damand Media, as 2011 [cit. 2011-18-03].

Dostupné na: <http://www.ehow.com/facts_7172080_production-wood-pellets-soft-wood.html>.

URL 14 *greenprojekt*. 2006 [online] g.biz 2010 [cit. 2011-15-03].

Dostupné na: <<http://www.greenprojekt.sk/vyrobapeliel.html>>.

URL 15 *Kiripark*. 2009 [online] [cit. 2011-15-03].

Dostupné na: <<http://kiripark.webnode.sk/news/webova-prezentacia-bola-spustena/>>.

Zákony

NORMY (Direktíva č. 98/70/EC) (Direktíva č. 98/70/EC) pre kvalitu biopalív podľa EÚ