

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA

FYZIKÁLNE VLASTNOSTI BIOMASY Z HĽADISKA JEJ
ENERGETICKÉHO VYUŽITIA

Diplomová práca

Študijný program:	Kvalita produkcie
Študijný odbor:	2386800 – Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra fyziky
Školiteľ:	RNDr. Vlasta Vozárová, PhD.

Nitra 2011

Ivan Kováčik, Bc.

Zadávací protokol

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Ivan Kováčik vyhlasujem, že som diplomovú prácu na tému „Fyzikálne vlastnosti biomasy z hľadiska jej energetického využitia“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

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

V Nitre 15. apríla 2011

.....
Ivan Kováčik

Pod'akovanie

Týmto by som chcel pod'akovať svojej vedúcej diplomovej práce pani RNDr. Vlaste Vozárovej, PhD. za jej cenné rady, inšpiráciu a pripomienky k vypracovaniu tejto práce. Ďalej chcem pod'akovať pánovi Ing. Michalovi Valachovi za jeho pomoc pri meraniach.

Abstrakt

Táto diplomová práca sa zaoberá problematikou energetického využitia biomasy a vplyvu niektorých fyzikálnych a termofyzikálnych veličín na jej vlastnosti. Práca je zameraná na charakteristiku biomasy, jej zloženie, vlastnosti a využitie. Zahŕňa informácie o rôznych druhoch biomasy a porovnáva ich vlastnosti pre energetické využívanie. V experimente boli uskutočnené merania výhrevnosti a namerané hodnoty porovnané s hodnotami uvádzanými v dostupnej literatúre.

Kľúčové slová: biomasa, energetické využitie, fyzikálne vlastnosti.

Abstract

This diploma thesis deals with the issue of biomass energy use and impact of some physical and thermo physical parameters on the properties. The topic covers general knowledge on biomass; the biomass characterization, its composition, properties and utilization. This work includes information on various types of biomass and compares their properties from the point of view of energy use. In experiment have realized measurement of heat value and this values were compared with values contained in literature.

Keyword: biomass, energy use, physical characteristics.

Obsah

Obsah	6
Zoznam ilustrácií	8
Zoznam tabuliek	9
Zoznam skratiek a značiek.....	10
Úvod	12
1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky	13
1.1 Biomasa	13
1.2 Zloženie biomasy	14
1.3 Perspektívy biomasy	16
1.3.1 Energetická politika Slovenska.....	16
1.4 Obnoviteľné nosiče energie	20
1.5 Spôsoby využitia biomasy	21
1.5.1 Biomasa ako potrava.....	21
1.5.2 Biomasa ako zdroj tepla pre vykurovanie a ohrev vody.....	21
1.5.3 Biomasa ako zdroj energie pre dopravné prostriedky	22
1.5.4 Biomasa ako zdroj energie pre výrobu elektriny	22
1.6 Biomasa ako palivo.....	22
1.6.1 Drevo ako palivo.....	23
1.6.2 Brikety	24
1.6.3 Štiepky	25
1.6.4 Pelety	25
1.6.5 Obilie ako palivo.....	26
1.6.6 Etanol	29
1.6.7 Metanol	33
2 Cieľ práce	35
3 Metodika práce	36
4 Vlastná práca.....	37
4.1 Fyzikálne vlastnosti	37
4.1.1 Hustota.....	37

4.1.2	Vlhkosť biopalív	43
4.1.3	Výhrevnosť a spalné teplo	48
4.2	Termofyzikálne vlastnosti.....	53
4.2.1	Hmotnostná tepelná kapacita	53
4.2.2	Koeficient tepelnej vodivosti.....	54
4.2.3	Koeficient teplotnej vodivosti.....	56
4.2.4	Metódy merania	56
4.3	Experimentálna aparatúra	62
4.3.1	IKA Kalorimetrický systém C 5000 control.....	62
4.3.2	Meracia časť C 5003.....	64
4.3.3	Vyrovňavacia nádrž	64
4.3.4	Kalorimetrická bomba	65
4.3.5	Procesy určovania spalnej hodnoty.....	67
4.3.6	Sartorius Basic	68
4.4	Výsledky merania	69
4.4.1	Bioetanol.....	69
4.4.2	Smrekové drevo	70
4.4.3	Pelety	71
4.4.4	Brikety	72
4.4.5	Agátové drevo.....	74
4.4.6	Čerešňové drevo	75
4.5	Zhodnotenie výsledkov.....	76
5	Záver	79
	Zoznam použitej literatúry	80

Zoznam ilustrácií

Obr. 1	Technický potenciál ONE	20
Obr. 2	Brikety	24
Obr. 3	Štiepky	25
Obr. 4	Pelety	26
Obr. 5	Kotol na pelety a obilie Verner A501	27
Obr. 6	Interiérový nástenný biokrb na etanol	32
Obr. 7	Voľne stojaci horák na etanol	32
Obr. 8	Závislosť výhrevnosti paliva na obsahu vody v dreve	48
Obr. 9	IKA Kalorimetrický systém C 5000 control	63
Obr. 10	Časti kalorimetrickej bomby	65
Obr. 11	Kalorimetrická bomba po meraní	65
Obr. 12	Bavlnené vlákna	66
Obr. 13	Ochranné vrecúška	66
Obr. 14	Analytická váha Sartorius Basic	68
Obr. 15	Bioetanol - BIO UNI 1 liter	69
Obr. 16	Smrekové drevo - vzorka	70
Obr. 17	Pelety - vzorka	72
Obr. 18	Briketa - vzorka	73
Obr. 19	Agátové drevo - vzorka	74
Obr. 20	Čerešňové drevo - vzorka	75

Zoznam tabuliek

Tab. 1	Produkcia biomasy	15
Tab. 2	Porovnanie drevárskej a energetickej vlhkosti	43
Tab. 3	Výhrevné hodnoty biomasy	51
Tab. 4	Tabuľka výhrevnosti, spalného tepla a obsahu popola biomasy	51
Tab. 5	Hodnoty koeficientov tepelnej vodivosti niektorých materiálov	55
Tab. 6	Výrobcom udávané charakteristiky zariadenia ISOMET 104	59
Tab. 7	Výsledné hodnoty vzoriek bioetanolu	70
Tab. 8	Výsledné hodnoty vzoriek smrekového dreva	71
Tab. 9	Charakteristika PELIET KLASIK	71
Tab. 10	Výsledné hodnoty vzoriek peliet	72
Tab. 11	Charakteristika briekiet	73
Tab. 12	Výsledné hodnoty vzoriek briekiet	74
Tab. 13	Výsledné hodnoty vzoriek agátového dreva	75
Tab. 14	Výsledné hodnoty vzoriek čerešňového dreva	76
Tab. 15	Porovnanie zistených a publikovaných výhrevností	76

Zoznam skratiek a značiek

A,B	– konštanty závislé od parametrov sondy
C	– uhlík
C	– tepelná kapacita telesa
c	– hmotnostná tepelná kapacita látky
cp	– hmotnostná tepelná kapacita pri konštantnom tlaku
cv	– hmotnostná tepelná kapacita pri konštantnom objeme
CH ₃ -CH ₂ -OH	– etanol
CH ₃ OH	– metán
(CH ₂ O) ₆	– cukor
CO ₂	– oxid uhličitý
Cu	– meď
d	– hrúbka steny (m)
dQ	– množstvo tepla (J)
dT	– rozdiel teplôt (K)
EJ	– exa joule
EÚ	– európska únia
grad T	– teplotný gradient (K.m ⁻¹)
H _u	– skutočná výhrevnosť paliva (MJ.kg ⁻¹)
H _{uWf}	– výhrevnosť sušiny (MJ.kg ⁻¹)
H ₂ O	– voda
I	– napájací prúd
l	– teplo potrebné k odpareniu 1 kg vody (2,44 MJ)
MNBS	– medza nasýtenia bunkových stien
MH	– medza hygroskopicity
m	– hmotnosť telesa
mv	– hmotnosť vzorky biopaliva
mov	– hmotnosť ochranného vrečka
k	– koeficient tepelnej vodivosti (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
K	– Kelvin

OECD	– Organizácia pre hospodársku spoluprácu a rozvoj
ONE	– obnoviteľný nosič energie
O ₂	– kyslík
Q	– množstvo tepla (J)
q	– hustota tepelného toku
\vec{q}	– vektor hustoty tepelného toku ($W.m^{-2}$)
R	– odpor drôtu
r ₀	– charakteristický rozmer sondy
S	– plošný obsah steny (m ²)
SR	– Slovenská republika
t	– čas, za ktorý teplo prechádza (s)
T ₁ , T ₂	– teplota na oboch stranách steny (K)
TZL	– tuhé znečisťujúce látky
USA	– Spojené Štáty Americké
w	– obsah vody v palive (%)
ω	– relatívna vlhkosť
ΔQ	– teplo dodané alebo odobrané
ΔT	– zmena teploty
ΔV	– objemový rozdiel

Úvod

V poslednej dobe sa s pojmom biomasa stretávame čoraz častejšie a to hlavne v súvislosti s rastúcou populáciou a tým aj neustálym zvyšovaním spotreby energie. Ľudská spoločnosť je stále veľmi závislá na zdrojoch fosílnych palív, ale zároveň si aj začína uvedomovať, že tieto palivá nie sú nevyčerpatelné a to je dôvod hľadania efektívnych a zároveň aj ekologických náhrad. Jednou takou náhradou je biomasa, ktorá je jedným z obnoviteľných zdrojov energií. Biomasa nie je nič nové, ľudia sa jej pestovaním zaoberali už pred tisíckami rokov, ale so zameraním na poľnohospodárske účely. No dnes si začíname uvedomovať, že je množstvo foriem biomasy a produktov z nej vytvorených, ktoré sa dajú používať ako zdroj tepla, elektrickej energie alebo pri doprave. Istým dôležitým aspektom pri biomase je finančná stránka jej tvorby, spracovania a využívania pre energetické účely. Ak si zoberieme závody, ktoré spracovávajú drevo, tak vždy vzniká určitý odpad napríklad vo forme pilín a ak by zainvestovali do zariadenia pre výrobu briekiet respektíve peliet, bolo by možné zabezpečiť zdroj tepla pre množstvo domácností alebo pre samotný závod. No v dnešnej dobe sú takéto zariadenia veľmi finančne náročné a taktiež si vyžadujú obsluhu. V prípade domácností sú náklady dosť vysoké, avšak i návratnosť týchto investícií je veľmi vysoká. Pri efektívnom využívaní je návratnosť niekedy len 2 až 3 roky.

Je množstvo kníh a iných zdrojov, ktoré sa zaoberajú formami biomasy a popisujú ich ekologické a ekonomické využitie. Všetko je to podložené fyzikálnymi vlastnosťami, ktoré udávajú hodnoty ich výhrevnosti, obsahu vody a popola.

Problematika biomasy a jej fyzikálne a termofyzikálne vlastnosti nadväzujú na dosiahnuté výsledky v mojej bakalárskej práci. V diplomovej práci sú spracované informácie o najbežnejšie používaných druhoch biomasy ako sú drevo, pelety, brikety, bioetanol a iné. Sú popísané ich spôsoby a druhy zariadení pre ich využitie. Ďalej sme sa zamerali na dôležité fyzikálne a termofyzikálne vlastnosti a metódy merania ich hodnôt.

Bližšie sme sa zamerali na meranie hodnôt výhrevnosti u vybraných druhoch pevných biopalív ako rôzne druhy dreva, pelety, brikety a tiež z kvapalných bioetanol. Na výhrevnosť sme sa zamerali vzhľadom na to, že je to v podstate najhlavnejšia fyzikálna vlastnosť a merania výhrevnosti sa tiež uskutočnili vzhľadom na dostupnosť meracích prostriedkov.

1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

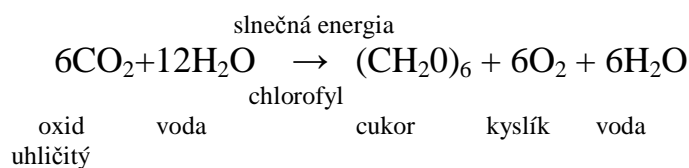
1.1 Biomasa

Biomasa je definovaná ako substancia biologického pôvodu. Je buď zámerne získavaná ako výsledok výrobnnej činnosti, alebo sa jedná o využitie odpadu z poľnohospodárskej, potravinárskej a lesnej výroby, z komunálneho hospodárstva, z údržby krajiny a starostlivosti o ňu (*Pastorek, 2004*).

Biomasa bola využívaná na zabezpečenie tepla a svetla už v dobe kamennej a na nasledujúcich viac ako 400 000 rokov sa stala najdôležitejším zdrojom energie. Biomasa je biologický materiál vhodný na energetické využitie, ktorý sa tvorí vo voľnej prírode, alebo je vyprodukovaný činnosťou človeka. Slnéčné žiarenie dopadajúce na zemský povrch je nevyhnutné k uskutočneniu jedného z najdôležitejších biologických dejov, ktorým je fotosyntéza (www.ekoenergiao.sk).

Pri fotosyntéze vzniká z oxidu uhličitého a vody za spolupôsobenia enzýmov, chlorofylu a svetelnej energie veľké množstvo organických látok. Pri fotochemických reakciách sa redukuje oxid uhličitý na cukry a voda sa oxiduje za vzniku molekulového kyslíku (<http://sk.wikipedia.org/wiki/Fotosynt%C3%A9za>).

Fotosyntézu môžeme schematicky znázorniť nasledovne:



Biomasa teda organická hmota vzniká:

- pri pestovaní rastlín v pôde alebo vo vode,
- pri organických odpadoch,
- chove živočíchov,
- pri produkcii organického pôvodu (*Pastorek, 2004*).

Biomasu využiteľnú k energetickým účelom môžeme rozdeliť do piatich základných skupín:

- fytomasa s vysokým obsahom lignocelulózy,
- fytomasa olejnatých plodín,
- fytomasa s vysokým obsahom škrobu a cukru,
- organické odpady a vedľajšie produkty živočíšneho pôvodu,
- zmes rôznych organických odpadov (*Pastorek, 2004*).

Pre získavanie energie sa využíva:

a) biomasa zámerne pestovaná k tomuto účelu: cukrová repa, obilie, zemiaky, olejniný,

b) biomasa odpadná:

- rastlinné zbytky z poľnohospodárskej prvovýroby a údržby krajiny,
- odpady živočíšnej výroby,
- komunálne organické odpady z dedinských sídiel,
- organické odpady z potravinárskych a priemyselných výrobní,
- lesné odpady - dendromasa (*Pastorek, 2004*).

1.2 Zloženie biomasy

Z chemického hľadiska je rastlinná biomasa tvorená rôznymi zlúčeninami. Pre nás majú najväčší význam:

- celulóza - jedná sa o najvýznamnejšiu zložku biomasy. Je to základný stavebný materiál rastlinných buniek. Z chemického hľadiska ide o polysacharid zložený z veľkého počtu navzájom spojených molekúl glukózy,
- hemicelulóza - ide o rôzne polysacharidy, ktoré spolu s celulózou tvoria steny buniek a umožňujú rastlinám vytvárať mechanicky pevné štruktúry,
- škrob - je zásobnou látkou rastlín. Je obsiahnutý prevažne v semenách či hľuzách. Z chemického hľadiska je to polysacharid tvorený z rovnakých základných jednotiek ako celulóza,

- lignín - predstavuje druhú najčastejšiu organickú zlúčeninu na zemskom povrchu po celulóze. Tvorí významnú zložku dreva stromov. Mechanicky spevňuje bunkové steny a tvorí súčasť kapilár, ktoré v rastline vedú vodu a živiny,
- oleje - sú zlúčeniny, ktoré plnia v rastlinách spravidla funkciu energetického akumulátoru“ a nachádzame ich často v semenách. Obvykle ide o zlúčeniny mastných kyselín ako napr. kyselina palmitová, kyselina olejová a pod. a trojsýtného alkoholu glycerínu,
- miazga - je obsiahnutá v dreve stromov a je tvorená prevažne zmesou uhlíkovodíkov. Uhlíkovodíky majú väčšiu výhrevnosť ako celulóza alebo lignín, vďaka tomu má drevo ihličnatých stromov obsahujúce miazgu o trochu väčšiu výhrevnosť ako drevo listnatých stromov (*Murtinger, 2006*).

Okrem svetla a oxidu uhličitého, rastlina potrebuje aj ďalšie látky k tomu, aby rástla a produkovala biomasu. Dôležité sú hlavne minerálne látky (hnojenie), primeraná teplota a hlavne dostatok vody. To, koľko uhlíka z atmosférického oxidu uhličitého je rastlinou premenené na biomasu, sa nazýva čistá primárna produkcia a je to dôležitý údaj pre posúdenie vhodnosti tej ktorej rastliny z hľadiska výnosu biomasy.

Všeobecne platí, že primárna produkcia každej rastliny má svoj limit a ani zvyšovanie koncentrácie oxidu uhličitého alebo zvýšenie intenzity slnečného žiarenia či väčšieho zavlažovania nevedie k ďalšiemu zvýšeniu produkcie (*Murtinger, 2011*).

Tab. 1
Produkcia biomasy

Druh porastu	Produkcia [kg/m ²]
Dažďový prales	2,2
Tropický prales	1,6
Stredoeurópsky les	1,2
Savana	0,9
Poľnohospodárska pôda	0,7

(Zdroj: *Murtinger, 2006*)

1.3 Perspektívy biomasy

Biomasa a tuhé biopalivá predstavujú jednu z možností aspoň čiastočného nahradenia fosílnych energetických surovín a palív. Na základe prognóz sa predpokladá, že biomasa sa po značnom vyčerpaní fosílnych surovín stane v budúcnosti významným tuhým, kvapalným alebo plynným nosičom energie na zemi (*Víglaský, 2008*).

Potreba energie a čerpanie energetických zdrojov zatiaľ stále rastú a predbiehajú rast počtu obyvateľov. Spolu s tým narastajú aj ekonomické a environmentálne problémy. Ľudská spoločnosť potrebuje dostatok energie na zabezpečenie výroby potravín a pitnej vody, hygienického spôsobu života, vykurovania a osvetlenia komunálnej sféry, pre priemyselnú výrobu, dopravu a pod. Existujú však možnosti energetických úspor, ktoré nám ponúkajú moderné technológie a elektronika a využitie nových, ďalších druhotných a najmä obnoviteľných nosičov energie. Toto sú rozhodujúce faktory, ktoré nás nútia hľadať nové energetické alternatívy, pričom je nevyhnutné klásť dôraz na ich priaznivý vzťah k životnému prostrediu. V procese fotosyntézy sa na zemi ročne vyprodukuje biomasa s chemickou energiou vyššou ako 3 000 EJ (E, t. j. predpona exa = 10^{18}), zatiaľ čo súčasná celosvetová spotreba energie sa odhaduje na 300 EJ. Reálne hodnotenie využiteľnosti biomasy však nezávisí ani tak od jej celkového potenciálu, ako od súčasných technických možností hospodárneho využitia tohto obnoviteľného nosiča energie. Hornú hranicu energetického využitia biomasy určujú výlučne súčasné technické, ekonomické, environmentálne a sociálne možnosti, t. j. trvalo udržateľný rozvoj. Avšak problém nie je v prírodných zdrojoch, ale v schopnostiach spoločnosti, ktorá dokáže využiť iba 20 % z toho, čo nám dáva príroda (*Víglaský, 2008*).

1.3.1 Energetická politika Slovenska

Slovensko je ako členský štát EÚ súčasťou širšieho hospodárskeho priestoru a politického zoskupenia. Energetická politika Slovenska je tak úzko previazaná s energetickou politikou EÚ, ale aj s vývojom ponuky a dopytu po energetických zdrojoch v svetovom hospodárstve. Výsledkom tejto politiky je makroekonomická stabilita, modernizácia národného hospodárstva, vysoké tempo ekonomického rastu a integrácie do EÚ (*Víglaský, 2008*).

Slovenská republika v súčasnosti dováža 90 % primárnych energetických zdrojov, a to najmä z Ruskej federácie. Spotreba elektrickej energie sa za ostatné tri roky zvýšila o 3 %. V dôsledku reštrukturalizácie ekonomiky, rastúcich cien energetických zdrojov, ale aj úsporných opatrení sa od roku 1990 do roku 2003 celková spotreba energie znížila o 30 %. Pritom naša energetická náročnosť je v porovnaní s priemerom v krajinách OECD takmer dvojnásobná. Riziko sa spája najmä s vysokou závislosťou od dovozu fosílnych palív z jedného zdroja a so strategickými zásobami ropy. Z hľadiska energetickej bezpečnosti treba znížiť budúcu závislosť od dovozu elektriny pri predpokladanom ročnom náraste spotreby o 1,6 %, pretože pri väčšej než 15 % závislosti od dovozu elektriny je ohrozené fungovanie ekonomiky. Treba preto klásť dôraz predovšetkým na sebestačnosť vo výrobe elektriny a venovať pozornosť nielen spoľahlivosti a bezpečnosti energetickej sústavy, ale aj využitiu alternatívnych zdrojov energie na výrobu elektriny a tepla. Reštrukturalizácia ekonomiky a jej efektívne zapojenie sa do svetového hospodárstva sú nemysliteľné bez znižovania energetickej náročnosti a dosiahnutia energetickej bezpečnosti (*Víglaský, 2008*).

Aby sme dosiahli požadované ciele a priority v rámci energetickej bezpečnosti Slovenska, treba zvýšiť energetickú efektívnosť pri zohľadnení vplyvu na životné prostredie, podporovať rozvoj trhu súbežne so znižovaním energetickej závislosti SR od dovozu a kompletizovať prechod na konkurenčný energetický sektor (*Víglaský, 2008*).

1.3.2 Faktory pestovania energetických plodín na Slovensku

Medzi pozitívne faktory situácie na Slovensku patrí z hľadiska cieleného pestovania energetických rastlín a produkcie technickej biomasy veľká rozloha tzv. marginálnych poľnohospodárskych pôd s nižším produkčným potenciálom (vo vzťahu ku konvenčnej poľnohospodárskej produkcii). Veľká časť poľnohospodárskej pôdy leží v horských a podhorských oblastiach s členitým kopcovitým terénom a drsnými klimatickými podmienkami, kde je v súčasnosti intenzívna poľnohospodárska výroba ekonomicky neefektívna. Táto pôda je potenciálne využiteľná pre energetické plodiny. Ďalej možno na pestovanie energetických rastlín využiť pôdu z tzv. problémových oblastí, ktoré nie sú vhodné na potravinársku produkciu v dôsledku nevhodnej ľudskej činnosti či ohrozenia prírodnými katastrofami, napríklad záplavami (*Víglaský, 2009*).

Biomasa, ktorá bola historicky prvým zdrojom primárnej energie, sa dnes vracia do sektora energetiky. Význam energetického využitia biomasy možno vyjadriť jej hlavnými výhodami:

- na rozdiel od fosílnych palív má obnoviteľnú formu (je prakticky nevyčerateľná),
- z hľadiska produkcie tzv. skleníkových plynov, predovšetkým CO₂, sa považuje za neutrálne palivo (CO₂ sa pri spaľovaní uvoľňuje, ale približne rovnaké množstvo CO₂ sa spotrebúva z atmosféry fotosyntézou pri raste biomasy),
- má zanedbateľný alebo malý obsah síry (asi 0,01%),
- zvyšuje nezávislosť od dovozu primárnych energetických zdrojov,
- často je odpadovou (zvyškovou) látkou, čo je výhodné z ekonomického hľadiska (cena) a z hľadiska odpadového hospodárstva,
- pestovanie biomasy zlepšuje sociálne pomery (zamestnanosť) na vidieku pri transformácii poľnohospodárstva (prevod potravinárskej produkcie na priemyselnú) a prispieva k ochrane životného prostredia – zmierňuje devastáciu pôdy priemyselnou a ťažobnou činnosťou (Víglašký, 2009).

Aj napriek týmto výhodám sa energetické využitie biomasy dosiaľ nerozšírilo tak, akoby bolo žiaduce. Príčinou sú niektoré problémy, ktoré sa zatiaľ nevyriešili:

- cena biomasy môže často presiahnuť cenu fosílnych palív vplyvom zvýšených nákladov na spracovanie a dopravu biomasy k odberateľom,
- spoľahlivosť dodávky biomasy, resp. biopaliva k odberateľom v sektore energetiky (napr. do kotolní alebo teplární) môže byť nižšia ako pri ostatných palivách na báze fosílnych surovín,
- sezónnosť pestovania energetických rastlín vyžaduje skladovanie biomasy (fytomasy) v pomerne veľkom rozsahu, pokiaľ sa neskladuje na mieste výskytu,
- súčasná efektívnosť využitia energetického obsahu biopalív na Slovensku sa javí ako neprimerane nízka v porovnaní so situáciou v zahraničí, najmä v Škandinávii,

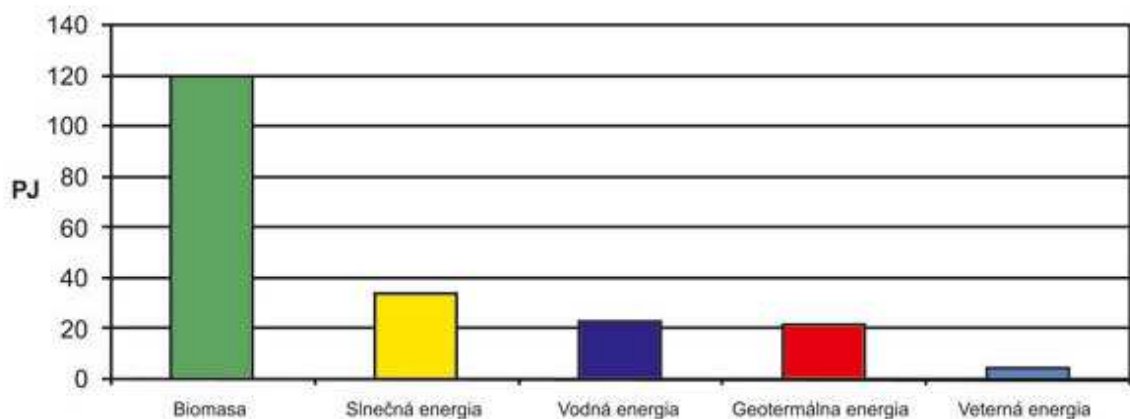
- nie je ešte dokončený vývoj niektorých zariadení na spracovanie a dopravu biomasy,
- hrozí riziko úniku škodlivých látok pri niektorých technologických procesoch (TZL – prach, pevné a kvapalné emisie, t. j. odpady) (Víglašký, 2009).

S energetickým využitím biomasy sa spájajú tieto riziká:

- riziko pri zavádzaní a pestovaní nového typu biomasy s 2- až 8-ročným cyklom pre výrobcu (pestovateľa a spracovateľa) – napr. otázka uplatnenia na trhu,
- riziko nedostatočnej technologickej infraštruktúry, nevhodnej, a tým aj neekonomickej dopravy a následného spracovania biomasy,
- riziko prevádzkovateľa energetického systému spočívajúce v zaistení dlhodobej spoľahlivej dodávky biomasy a v nedostatku skúseností so skladovaním a spracovaním biomasy; možno ho znížiť pri použití biomasy vo viacpalivových systémoch,
- riziko investora pri financovaní novej a nevyskúšanej technológie či infraštruktúry, najmä pri nevyjasnenej situácii so subvencovaním využívania biomasy,
- riziko dodávateľa technológie spočívajúce v nedodržaní harmonogramu stavby, spoľahlivosti a technických vlastností nového zariadenia (Víglašký, 2009).

1.4 Obnoviteľné nosiče energie

Potenciál obnoviteľných nosičov energie (ONE) predstavuje energiu, ktorú možno premeniť na iné formy energie za jeden rok a ktorej veľkosť je daná prírodnými podmienkami. Najväčší celkový energetický potenciál má slnečná energia. Tá časť potenciálu, ktorá sa dá využiť po zavedení dostupnej technológie, sa nazýva technický potenciál (Víglaský, 2008).



Obr. 1

Technický potenciál ONE

(Zdroj: Víglaský, 2008)

Využívanie ONE na výrobu tepla zásluhou biomasy zaznamenáva stabilný nárast. Spôsobuje ho postupná zmena palivovej základne väčších zdrojov, ako aj zvýšené využívanie kotlov na biomasu v domácnostiach z dôvodu rastúcich cien zemného plynu. Primárna produkcia elektriny z ONE sa však v ročnom porovnaní podstatne mení, pretože závisí od výroby vo veľkých vodných elektrárňach (Víglaský, 2008).

1.5 Spôsoby využitia biomasy

1.5.1 Biomasa ako potrava

Najstarším a ešte stále najdôležitejším využitím biomasy je použitie ako potravy. Takéto využitie biomasy patrí do oboru hospodárstva a potravinárstva, preto je v tejto práci spomínané len okrajovo. Je však potrebné poznamenať, že mnohé metódy pre pestovanie, spracovanie a úpravu plodín určených pre výrobu potravín a krmív nájdu uplatnenie aj pri pestovaní a úpravách biomasy pre energetické účely. Biomasa ako potrava pre zvieratá je stále ešte využívaná aj v rozvinutých krajinách. Tak ako rastie životná úroveň v rozvojových krajinách, tak sa aj zvyšuje aj spotreba mäsa, čo má za následok zvýšené požiadavky na množstvo pestovaných obilnín. Pre produkciu 1 kg mäsa sa totiž spotrebuje približne 8 kg obilia. Je preto pravdepodobné, že pestovanie energetickej biomasy sa ornej pôde asi nebude dlhodobo udržateľné (*Murtinger, 2011*).

1.5.2 Biomasa ako zdroj tepla pre vykurovanie a ohrev vody

Toto využitie biomasy ma dlhodobú tradíciu a stále ešte predstavuje najvýznamnejšie využitie biomasy. Významnú časť energie, ktorú spotrebovávame, používame k výrobe tepla na vykurovanie a ohrev vody v domoch, alebo pre rôzne priemyselné procesy. Teplo sa z biomasy vyrába takmer výlučne tým najjednoduchším spôsobom a to spaľovaním. Horenie biomasy je pomerne zložitý reťazec na seba naväzujúcich chemických reakcií, ktoré prebiehajú za vysokej teploty a za účasti vzdušného kyslíku a jeho výsledkom je vznik oxidu uhličitého a vody. Pri nedokonalom spaľovaní vzniká ešte rada ďalších, nežiaducich a často toxických látok ako napríklad:

- oxid dusíku,
- polycyklické aromatické uhľovodíky,
- mikroskopické častice uhlíku - sadze (*Murtinger, 2011*).

1.5.3 Biomasa ako zdroj energie pre dopravné prostriedky

Využívanie biomasy pre pohon automobilov je pomerne nové a naberá na význame hlavne v posledných rokoch. Náhrada časti dovážanej ropy lokálne pestovanou biomasou je významná nielen z čisto energetického a ekologického hľadiska, ale má aj veľký politický význam, ktorý spočíva v znižovaní závislosti na producentoch ropy(*Murtinger, 2011*).

1.5.4 Biomasa ako zdroj energie pre výrobu elektriny

Elektrická energia je tou najuniverzálnejšou využiteľnou formou energie pre našu civilizáciu a v súčasnej dobe sa vyrába z časti z fosílnych palív, ako je uhlie, ropa alebo plyn. Nahradenie uhlia biomasou je možné a do istej miery aj žiaduce(*Murtinger, 2011*).

1.6 Biomasa ako palivo

Na rozdiel od dreva, ktoré sa od nepamäti využíva na varenie i kúrenie, v posledných niekoľkých storočiach ľudstvo využíva hlavne fosílnu formu biomasy - uhlie. Toto palivo vzniklo ako výsledok veľmi pomalých chemických procesov, ktoré menili polyméry cukrov na chemickú zložku, ktorá nahradila lignín. Tým sa dodatočné chemické väzby v uhlí stali koncentrovaným zdrojom energie. Všetky fosílna palivá, ktoré dnes spotrebujeme (uhlie, ropa, zemný plyn) sú v podstate pradávnu biomasou. Počas miliónov rokov sa prírodnými procesmi dostala pôvodná biomasa pod zem, kde sa postupne menila na tieto palivá. Hoci fosílna palivá obsahujú rovnaké stavebné prvky (uhlíka a vodík) ako čerstvá biomasa, nie sú považované za zdroje obnoviteľné, pretože ich vznik trval tak dlhú dobu.

Z hľadiska vplyvu na životné prostredie je veľký rozdiel medzi fosílnou a obnoviteľnou (čerstvou) biomasou. Pri fosílnych palivách dochádza k ovplyvňovaniu životného prostredia tým, že pri ich spálení sa do atmosféry dostávajú látky, ktoré boli po mnoho miliónov rokov uložené pod zemským povrchom. Na rozdiel od nich je spaľovanie čerstvej biomasy z hľadiska emisií skleníkových plynov neutrálne.

Z hľadiska svojej perspektívy je biomasa považovaná za kľúčový obnoviteľný zdroj energie a to tak na úrovni malých ako i veľkých technologických celkov. Už dnes sa podieľa asi 14 % na celosvetovej spotrebe primárnych energetických zdrojov. Avšak pre tri štvrtiny obyvateľstva Zeme, žijúcich prevažne v rozvojových krajinách, je najdôležitejším palivovým zdrojom. V priemere jej podiel na spotrebe energie v týchto krajinách predstavuje asi 38 % (v niektorých krajinách až 90 %). Je možné predpokladať, že pri raste populácie a znižovaní rezerv fosílnych palív bude jej význam vo svete ďalej narastať. Biomasa je významným zdrojom aj v niektorých rozvinutých krajinách. Vo Švédsku alebo v susednom Rakúsku sa podieľa asi 15 % na spotrebe energie (u nás je to menej ako 1 %). Vo Švédsku existujú plány na podstatne vyššie využívanie biomasy, ktorá by mala v budúcnosti nahradiť energiu získavanú v súčasnosti v jadrových elektrárňach. V USA je podiel biomasy na primárnych zdrojoch asi 4 %, čo je asi toľko energie, koľko sa jej získava v jadrových elektrárňach. Biomasa pestovaná na výrobu etanolu by dokázala nahradiť viac ako 50 % dovážanej ropy (<http://www.inforse.dk/europe/fae/OEZ/biomasa/biomasa.html>).

1.6.1 Drevo ako palivo

1000 kg suchej drevnej hmoty sa svojou energiou vyrovná:

- 520 kg koksu,
- 450 kg čierneho uhlia,
- 340 kg vykurovacieho oleja,
- 320 kg butánu.

Veľkou výhodou dreva je, že pri dobrom uložení si uchováva svoj energetický obsah a 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, dochádza k dymeniu, zanášaniam dymových potrubí a k znižovaniu životnosti kotla.

Pri správnom spaľovaní a pri správnej vlhkosti drevo horí prakticky bez dymu, ľahko sa zapáľuje, nešpiní pri manipulácii a tvorí málo popola asi 1 % pôvodnej hmotnosti. Drevný popol je nespekavý a výborne sa hodí ako prírodné hnojivo. Obsahuje totiž dusík, vápnik, horčík, hydroxid draselný, oxid kremičitý, kyselinu fosforečnú a stopové prvky. Najdlhšie sa oheň udrží tvrdými drevami, najľahšie zase horia ľahké listnaté a ihličnaté dreva. Výborne však horí každé drevo, ktoré má nízky obsah vlhkosti t.j. 15-20 %. Všeobecne sa požaduje doba sušenia 18 až 24 mesiacov. Túto dobu je možné účinne skrátiť na 12 až 15 mesiacov, keď sa rozreže na potrebnú dĺžku. Lepšie je drevo rozštiepané na štvrtky ako celá guľatina. Pokiaľ je guľatina príliš tenká na štiepanie, mala by z nej byť odstránená kôra (<http://www.inforse.dk/europe/fae/OEZ/biomasa/biomasa.html>).

1.6.2 Brikety

Brikety sú valcovité telesá s dĺžkou asi 15-25 cm vyrobené z odpadovej biomasy drvením, sušením a lisovaním bez akýchkoľvek chemických prísad. Lisovaním sa dosahuje vysoká hustota (1200 kg/m^3), čo je dôležité pre objemovú minimalizáciu paliva. Vysoká výhrevnosť (19 MJ/kg) je zárukou nízkych nákladov na vykurovanie. Nízka popolnosť (0,5 %), neobmedzená skladovateľnosť, bezprašnosť a jednoduchá manipulácia sú vlastnosti, ktoré tomuto palivu dávajú špičkové parametre (<http://www.inforse.dk/europe/fae/OEZ/biomasa/biomasa.html>).



Obr. 2
Brikety

1.6.3 Štiepky

Štiepky sú 2-4 cm dlhé kúsky dreva, ktoré sa vyrábajú štiepkovaním z drevných odpadov preriedovania porastov alebo konárov. Štiepky sú odpadovým produktom drevárskeho priemyslu a ich energetické využitie sa stalo v mnohých krajinách bežné. V Dánsku aj v Rakúsku existuje viacero väčších obecných kotolní spaľujúcich štiepky. Výhodou štiepky je, že rýchlejšie schne, a tiež umožňuje automatickú prevádzku kotlov pri použití zásobníka a dopravníka paliva (<http://www.inforse.dk/europe/fae/OEZ/biomasa/biomasa.html>).



Obr. 3
Štiepky

1.6.4 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 ako sú piliny alebo hobliny 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/m³) znamená aj vysokú energetickú hustotu - až 20 MJ/kg. Týmito parametrami sa pelety vyrovnávajú uhlíu (<http://www.inforse.dk/europe/fae/OEZ/biomasa/biomasa.html>).

V poloautomatických kotloch bývajú zásobníky na pelety skonštruované tak, aby objem vsypaného paliva vystačil asi na 1 týždeň. Po tejto dobe je potrebné vybrať popol a doplniť palivo. Dlhší cyklus prikladania umožňujú zásobníkové silá. Tie môžu mať podobu drevenej ohrady, malej príľahlej miestnosti alebo podzemnej nádrže, z ktorej sú pelety premiestňované do kotla dopravníkom. V prípade vybudovania sila sa užívateľ nemusí starať o palivo celý rok. Spôsob dopĺňovania paliva je veľmi jednoduchý. Do zásobníku sa palivo nasype priamo z transportných vriec (20 alebo 50 kg) alebo z nákladného automobilu (<http://www.inforse.dk/europe/fae/OEZ/biomasa/biomasa.html>).



Obr. 4
Pelety

1.6.5 Obilie ako palivo

Využívanie obilia pre energetické účely a to konkrétne pre vykurovanie domácností a priemyselné procesy je v súčasnej dobe veľmi diskutabilné. Toto využitie má ako svojich zástancov tak aj odporcov. V súčasnosti je spaľovanie obilia veľmi málo rozšírené a to z toho dôvodu, že je to medzi obyvateľstvom tak povediac "nestráviteľné". Ľudia si ťažko predstavujú, že obilie z ktorého sa vyrábajú základné potraviny sa spáli v kotloch. K využitiu obilia ako paliva je vhodné pristúpiť napríklad ak nastane v krajine prebytok obilia. Obilie je možné svojimi vlastnosťami a cenou zaradiť zhruba medzi drevné a alternatívne pelety. V súčasnosti je najvhodnejšie pre využitie obilia ako paliva použiť automatické kotle. Tieto kotle sa využívajú ako pre obilie tak aj pre pelety (obr. 5).

Automatický kotol na pelety a obilie VERNER A501

Komfortné, úsporné a ekologické vykurovanie rodinných domov, bytových jednotiek, poľnohospodárskych budov, škôl, hotelov, dielní, malých prevádzok a obdobných objektov. Spaľovanie poľnohospodárskych produktov - pšenice, ovsu, žita, tritikale, jačmeňa, kukurice, horčice, repky olejky, alternatívnych peliet z obilných pliev, energetických rastlín a obilnej alebo repkovej slamy a tiež drevných peliet. Celoročný ohrev teplej úžitkovej vody (akumulačnými nádržami alebo kombinovaným bojlerom) (<http://www.ondrusek.sk/kotly-na-pelety-a-obilie/verner/verner-a501>).



Obr. 5

Kotol na pelety a obilie Verner A501

Hlavné prednosti:

- vysoký komfort obsluhy,
- kotly zaisťujú úplne automatickú prevádzku od dopravy paliva a jeho zapálenia až po transport popola,
- základná násypka umožňuje niekoľkodennú prevádzku bez nutnosti dopĺňovania,

- výborná regulácia výkonu - kotly majú plynulú reguláciu výkonu v rozsahu 30 až 100 %,
- výkon 0 až 30 % je zaistený automatickým režimom udržiavania ohniska so samočinným zapáľovaním,
- vysoká účinnosť - 92 % - táto účinnosť je dosiahnutá presným pomerom paliva a spaľovacieho vzduchu, rozmerným spalínovým výmenníkom a silnou izoláciou všetkých častí kotla,
- nízke náklady na prevádzku - vďaka schopnosti kotla spaľovať poľnohospodárske produkty sú náklady na vykurovanie až o 2/3 nižšie v porovnaní s vykurovaním zemným plynom. Kotly sa vyznačujú i nízkou spotrebou elektrickej energie,
- dlhá životnosť - kotly sú vyrobené z akostnej ocele a špeciálnej žiaruvzdornej keramiky. Životnosť kotlov je výrazne predĺžená riadeným spaľovaním na špeciálnom rošte,
- táto koncepcia zamedzuje tvorbe dechtu a usadenín,
- schopnosť spaľovať rôzne typy palív - kotly umožňujú spaľovanie i palív s vyšším podielom spekavého popola,
- násypky kotlov je možné vybaviť deliacou prepážkou, ktorá umožňuje riadené spaľovanie viacerých druhov palív súčasne (<http://www.ondrusek.sk/kotly-na-pelety-a-obilie/verner/verner-a501>).

Menovitý výkon predávaný do vykurovacej sústavy je 48 kW. Doba horenia štandardnej násypky pri menovitom výkone je 8 hod. a objem štandardnej násypky je 240 dm³. Cena takéhoto kotla sa pohybuje okolo 8800 eur (<http://www.ondrusek.sk/kotly-na-pelety-a-obilie/verner/verner-a501>).

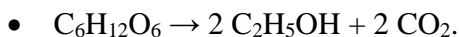
1.6.6 Etanol

Jednou z alternatívnych foriem pohonných hmôt je aj etanol získavaný z rastlín ako kukurica, cukrová trstina, obilie. Existujú však aj technológie na výrobu etanolu z papiera určeného na recykláciu. Etanol (iné názvy: etylalkohol, alkohol, lieh) je bezfarebná horľavá kvapalina (<http://sk.wikipedia.org/wiki/Etanol>).

Jej chemický vzorec je:

- $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$,
- často sa uvádza aj ako $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$,
- sumárne $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ (<http://sk.wikipedia.org/wiki/Etanol>).

Najväčšia časť produkcie etanolu sa pripravuje z jednoduchých sacharidov (cukrov) alkoholickým kvasením pôsobením rôznych druhov kvasiniek, predovšetkým rôznych šľachtených kmeňových druhov *Saccharomyces cerevisiae*. Používa sa k tomu ako cukrový roztok (o maximálnej koncentrácii 20 %), tak aj priamo prírodné suroviny obsahujúce sacharidy, ako sú napr. zemiaky alebo cukrová trstina (<http://sk.wikipedia.org/wiki/Etanol>). Kvasný proces prebieha podľa sumárnej rovnice:



Kvalita takto získaného etanolu je veľmi závislá na východzej surovine; kvasením vzniká zápara, čiže veľmi zriedený vodný roztok etanolu (maximálne 15 %); vždy však obsahuje nežiaduce prímеси, zrejme vyššie alkoholy (propanol a izopropanol), viac sýtené alkoholy (glycerol), ketóny (acetón). Čistenie sa uskutočňuje na výkonných destilačných kolónach, pričom možno získať tzv. absolútny alkohol, obsahujúci 95,57 % etanolu a 4,43 % vody. Zvyšok vody môžeme odstrániť destiláciou s bezvodným síranom vápenatým alebo oxidom vápenatým, ktoré vodu viažu alebo dlhodobým pôsobením hygroskopických látok ako napr. bezvodného uhličitanu draselného alebo bezvodného síranu mednatého (modrej skalice). Týmito postupmi možno získať etanol o čistote až 99,9 % (<http://sk.wikipedia.org/wiki/Etanol>).

Inou metódou získavania čo najčistejšieho etanolu je tzv. azeotropická metóda, spočívajúca v destilácii s prídavkom benzínu alebo benzénu, ktorou môžeme získať produkt o čistote až 99,7 % (<http://sk.wikipedia.org/wiki/Etanol>).

Synteticky sa etanol pripravuje katalytickou hydratáciou eténu (etylénu). Ako katalyzátor sa používa kyselina trihydrogenfosforečná na oxide kremičitom. Takto pripravený etanol má oveľa menej nečistôt než kvasený a je preto kvalitnejší. Ďalší spôsob syntetickej prípravy spočíva v katalytickej hydrogenácii acetaldehydu, ktorý môže byť priemyselne vyrábaný hydratáciou acetylénu (<http://sk.wikipedia.org/wiki/Etanol>).

Použitie

Najznámejším použitím etanolu je výroba alkoholických nápojov. Na výrobu kvalitných destilátov sa uprednostňuje dvojstupňová destilácia, kde obsah etanolu nebýva vyšší ako 70 %. Tiež sa používa pre zlepšenie výkonu spaľovacích motorov ako prídavok do pohonných hmôt. V lekárstve sa používa ako rozpúšťadlo (napr. jódu, tým vzniká tzv. jódomá tinktúra), pri príprave niektorých kvapalných prípravkov pre vnútorné a vonkajšie použitie (pri požití je potrebná opatrnosť a bezprostredne po ňom sa neodporúča riadiť motorové vozidlá) a k dezinfekcii neporanenej kože. V oblasti kozmetiky sa uplatňuje pri výrobe voňaviek. Tento alkohol má svoje miesto aj pri výrobe čistiacich prostriedkov (<http://sk.wikipedia.org/wiki/Etanol>).

V chemickom priemysle sa používa ako surovina, najmä pri výrobe ďalších organických zlúčenín:

- kyselina octová,
- etén,
- dietylér,
- etylacetát,
- etylakrylát,
- a iné (<http://sk.wikipedia.org/wiki/Etanol>).

Etanol ako palivo

Etanol je vysoko hodnotné ekologické palivo pre spaľovacie motory. Má antidetonačné vlastnosti. Jeho nedostatkom je schopnosť viazať vodu a pôsobiť tak na koróziu motoru, čo je možné odstrániť pridaním vhodných aditív - antikoročných prípravkov (<http://sk.wikipedia.org/wiki/Etanol>).

Výhody a nevýhody etanolu

Medzi výhody etanolu môžeme zaradiť napríklad:

- že pochádza z obnoviteľných zdrojov energie,
- znižuje mieru znečistenia a emisie skleníkových plynov,
- neznečisťuje podzemnú vodu,
- široká možnosť použitia.

Medzi nevýhody etanolu patrí jeho vlastnosť hrdzavenia. Etanol veľmi ľahko absorbuje vodu a nečistoty. Ak by tieto znečisťujúce látky neboli efektívne filtrované, mohli by spôsobovať poškodenie a hrdzavenie častí motora. Efektivita etanolu ako paliva je tiež na zváženie. Etanol, aspoň v súčasnej podobe, neposkytuje rovnakú palivovú efektivitu ako napríklad benzín (<http://www.dolceta.eu/slovensko/Mod5/spip.php?article322>).

Krby na etanol

Pri horení krby neprodukurujú dym a škodlivé exhaláty. Biokrby preto nepotrebujú komín a nemusíte sa obávať spalín vznikajúcich pri horení, lebo sú to iba CO₂ (oxid uhličitý) a H₂O (voda), teda to čo obsahuje vzduch a my to bežne dýchame. Nemalou prednosťou týchto krbov je ich malá hmotnosť, ktorá sa pohybuje od 5 do 50 kg. Nie sú preto problémy s ich umiestnením v interiéri a na rozdiel od klasických krbov nezaťažujú konštrukciu stavby. Preto je možné ich ľubovoľne premiestňovať podľa zmien interiériu (www.pece-krb-krby.sk/produkty-krby-pece/bezkominove-bio-krby/vlastnosti-bio-krbov/).

Jeden liter etanolu horí cca 2 až 8 hodín, v závislosti od typu a nastavenia horáka. Výkon biokrbov je od 1 kW až po 4 kW, čo postačuje na preteplenie jednej až dvoch miestností. Rovnako ako pri krboch spaľujúcich iný druh paliva, napr. drevo, brikety, plyn, aj pri biokrboch platí, že čím väčší výkon, tým väčšia spotreba paliva (<http://www.bioflame.sk/>).

Príklady niektorých typov biokrbov:



Obr. 6

Interiérový nástenný biokrb na etanol

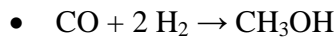


Obr. 7

Voľne stojaci horák na etanol

1.6.7 Metanol

Metanol (tiež metylalkohol, karbinol, drevný lieh) je najjednoduchší alifatický alkohol. Sumárny vzorec je CH₃OH. Je to bezfarebná, alkoholicky zapáchajúca kvapalina, neobmedzene miešateľná s vodou. Je tekutý, horľavý a veľmi jedovatý. Metanol sám o sebe nie je priamo toxický. V tele sa však pôsobením enzýmov alkoholdehydrogenáza a aldehyddehydrogenáza metabolizuje na kyselinu mravčiu, ktorá poškodzuje zrakový nerv a spôsobuje opuchy sietnice a acidózu, vedúcu až k smrti. Metanol sa používa aj ako denaturačné činidlo technického etanolu. V minulosti sa pripravoval destiláciou dreva za sucha, odtiaľ pochádza aj starší názov drevný lieh. Metanol sa vyrába hydrogenáciou oxidu uhoľnatého za vysokého tlaku a teploty (okolo 350 °C) a prítomnosti katalyzátora - zmes oxidu chromitého a oxidu zinočnatého (<http://sk.wikipedia.org/wiki/Metanol>):



Využitie

Vozidlá jazdiace na metanol sa z hľadiska výkonu a iných charakteristík (dojazd) podobajú vozidlám na benzín alebo naftu. Metanol je možné použiť ako palivo v čistej forme alebo ako zmes. Motor si však vyžaduje istú úpravu. V prípade naftových motorov je potrebné vozidlá vybaviť pomocným zapalovacím systémom, nakoľko cetánové číslo metanolu je nízke. Tieto motory môžu spaľovať tiež zmes metanolu a nafty. Už pri obsahu niekoľko percent nafty v takejto zmesi nie je potrebné použiť zapalovaciu sviečku (<http://www.e-learning-centrope.sk/data/files/56.doc>). Metanol sa tiež používa na technologické zušľachtovanie kovových súčiastok - nitridácia (<http://sk.wikipedia.org/wiki/Metanol>).

Výhody

- pre jeho výrobu existuje širší potenciál vstupných surovín,
- má vyššie oktánové číslo ako benzín (lepšia účinnosť motora),
- nižšie cetánové číslo ako nafta,

- má vysokú kalorickú hodnotu, čo umožňuje vyššiu účinnosť spaľovania v motore,
- má nižšiu teplotu horenia,
- produkuje menej škodlivín,
- v porovnaní s etanolom je metanol lacnejší,
- s metanolom sa ľahšie zaobchádza ako s benzínom, pretože je menej prchavý,
- je bezpečnejší pri dopravných nehodách a prípadný požiar sa dá uhasiť aj vodou. Požiar je možné veľmi jednoducho zlikvidovať aj na malú vzdialenosť od ohňa, čo je dôsledok nízkej teploty plameňa (<http://www.e-learning-centrope.sk/data/files/56.doc>).

Fyzikálne a chemické vlastnosti

ph: neutrálne

Molárna hmotnosť: 32,042

Merná hmotnosť: 795 kg.m⁻³

Viskozita: 0,52 mPa.s

Zmena fyzikálneho stavu:

- bod varu: 64 – 65,5 °C,
- tlak pár: 128 kPa (pri 20°C),
- prchavosť: 168 mg.l⁻¹ ,

Rozpustnosť vo vode: absolútna

Teplota vznietenia: 464 °C

Hranica vznietenia so vzduchom:

- spodná 5,5 % obj.
- horná 44 % obj (<http://www.airproducts.sk/corporate/vseobecne/pdf/slovenka/Metanol.pdf>)

2 Cieľ práce

Hlavným cieľom diplomovej práce je získať hodnoty výhrevnosti vybraných druhov biopalív pomocou kalorimetrického zariadenia. Obsahom diplomovej práce je charakteristika fyzikálnych a termofyzikálnych vlastností biomasy relevantných z hľadiska jej energetického využitia.

K naplneniu daného cieľa práce napomáhajú čiastkové ciele ako je spracovanie literárneho prehľadu so zameraním na charakteristiku a zloženie biomasy, prehľad možností spracovania a využitia biomasy na energetické účely.

3 Metodika práce

Predložená práca sa sústreďuje na problematiku merania hodnôt výhrevnosti vybraných druhov biopalív. Namerané hodnoty sme sa snažili získať za použitia moderných postupov a dostupnej experimentálnej aparatury.

Pre splnenie cieľov diplomovej práce je navrhovaná rámcová metodika:

1. Spracovanie literárneho prehľadu o biomase a jej súčasnom využití v rámci Slovenska.
2. Zhrnutie publikovaných poznatkov o biomase: charakteristika a zloženie biomasy, zdroje a spôsoby jej využitia, fyzikálne a termofyzikálne vlastnosti relevantné z hľadiska jej energetického využitia.
3. Experimentálne meranie zamerané na získanie hodnôt výhrevnosti biopalív.
4. Zhodnotenie a porovnanie dosiahnutých výsledkov s hodnotami uvádzanými v dostupnej literatúre.

Štruktúra vlastnej práce je rozdelená na:

- teoretickú časť - charakteristika fyzikálnych a termofyzikálnych vlastností, metódy merania týchto vlastností, popis experimentálnej aparatury.
- praktickú časť - výber a získanie dostupných a vhodných vzoriek biopalív, následné meranie výhrevnosti biopalív a ich komparácia s hodnotami uvádzanými dostupnej literatúre.

4 Vlastná práca

4.1 Fyzikálne vlastnosti

4.1.1 Hustota

Hustota ρ homogénnej látky je definovaná ako pomer jej hmotnosti m ku objemu V , ktorý látka zaberá. Vyjadruje vlastnosť látky danú zložením a nezávisí od miesta merania, iba od jeho fyzikálnych podmienok.

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

Jednotkou hustoty je $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$.

Normálna hustota je hustota meraná za normálnych podmienok, tj. normálneho tlaku $p_0 = 101325 \text{ Pa}$ a normálnej teploty $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Vzťah (1) je na výpočet hustoty látky priamo použiteľný za predpokladu znalosti hmotnosti telesa a jeho objemu. Z dôvodu malej presnosti sa však v praxi využíva veľmi málo. V dôsledku chýb merania objemu (chyba stanovenia hmotnosti je aj pri bežných váženíach väčšinou menšia ako 0,1%) sa priame určenie objemu nahradzuje obvykle druhým vážením. Prakticky môžeme stanoviť hustotu látok vo všetkých troch skupenstvách – tuhom (s), kvapalnom (l) i plynnom (g) (<http://www.kchsz.sjf.stuba.sk/start2.html>).

Metódy merania hustoty tuhých látok

Pre meranie hustoty tuhých látok možno použiť nasledujúce metódy:

- metóda vážením,
- metóda pyknometrická,
- metóda hydrostatická (uvedená principiálne),
- metóda rovnakých hustôt (uvedená principiálne).

Metóda vážením

Je založená na odvážení telesa na vzduchu a jeho ponorení do kvapaliny v odmernom valci, ktorá má hustotu ρ_k , pričom musí platiť $\rho_t > \rho_k$. Odčítaním rozdielu hladín sa zistí objem kvapaliny vytlačený telesom - V , z váženia telesa sa získa jeho hmotnosť m_t . Vztlak vzduchu na teleso sa zanedbáva. Podielom hmotnosti m_t a získaného objemového rozdielu ΔV sa určí hustota telesa - ρ_t (<http://www.kchsz.sjf.stuba.sk/start2.html>).

Metóda pyknometrická

Používa sa pri stanovovaní hustôt malých tuhých telies. Pyknometre sú sklené nádoby definovaných objemov. Objem pyknometra sa pri danej teplote stanoví vážením pomocou kvapaliny, pre ktorú sú známe presné tabelované hodnoty hustoty v závislosti od teploty - napr. destilovanej vody. Pyknometrické stanovenie hustoty spočíva v tom, že sa porovná určitý objem meranej látky s rovnakým objemom kvapaliny, ktorej hustota je známa. Tuhé telieska sa odvážia na vzduchu, ich hmotnosť sa označí m_{t1} . Pyknometer sa naplní kvapalinou známej hustoty ρ_2 a po uzavretí sa vážením zistí jeho hmotnosť m_{t2} . Potom sa do pyknometra naplneného kvapalinou vsypú tuhé zväžené telieska, uzavrie sa, prebytočná vytečená kvapalina sa z jeho povrchu dôkladne osuší a odváži sa – hmotnosť m_{t3} . Hmotnosť telieskami vytlačenej kvapaliny sa určí z rozdielu:

$$m_{t2} - (m_{t3} - m_{t1}) = m_k \quad (2)$$

Keďže objem vytlačenej kvapaliny je rovný objemu tuhých teliesok, tento sa potom získa predelením výrazu (2) známou hustotou kvapaliny ρ_2 . Hľadaná hustota teliesok ρ_t , bez uvažovania vztlaku vzduchu, sa získa pomocou vzťahu:

$$\rho_t = \frac{m_{t1}}{m_{t1} + m_{t2} - m_{t3}} \cdot \rho_2 \quad (3)$$

Pri presnejších výpočtoch hustôt treba použiť vzťah (4):

$$\rho_t = \frac{m_{t1}}{m_{t1} + m_{t2} - m_{t3}} \cdot (\rho_2 - \rho) + \rho \quad (4)$$

kde: ρ - hustota vzduchu (<http://www.kchsz.sjf.stuba.sk/start2.html>).

Metóda hydrostatická

Metóda založená na dvojnásobnom vážení telesa, ktorého hustota ρ_t sa stanovuje. Váži sa na rovníramenných váhach, ktoré sú prispôbolené k nasledujúcim váženiam: prvé váženie sa vykoná na vzduchu, získa sa hmotnosť vyvažovacieho závažia m_{z1} (hustota ρ) druhé váženie spočíva v ponorení telesa zaveseného na ramene váh do kvapaliny so známou hustotou ρ_2 , získa sa hmotnosť vyvažovacieho závažia m_{z2} . Z podmienok rovnováhy pre rovníramenné váhy sa určí hmotnosť telesa z prvého a druhého váženia:

$$m_t = m_{z1} \cdot \frac{1 - \frac{\rho}{\rho_t}}{1 - \frac{\rho_z}{\rho_t}} \quad (5)$$

$$m_t = m_{z2} \cdot \frac{1 - \frac{\rho}{\rho_t}}{1 - \frac{\rho_2}{\rho_t}} \quad (6)$$

kde: ρ_z - hustota použitého závažia.

Vo vzťahu (5) sa pri určovaní hmotnosti telesa z váženia na vzduchu uvažuje vztlak vzduchu, ktorý pôsobí na teleso a závažie, kým pri určovaní hmotnosti telesa ponoreného v kvapaline na teleso pôsobí vztlak kvapaliny a na závažie vztlak vzduchu. Zo vzťahov (5) a (6) sa získa vzťah pre výpočet hustoty tuhého telesa (7):

$$\rho_t = \frac{\rho_2 \cdot m_{z1} - \rho \cdot m_{z2}}{m_{z1} - m_{z2}} \quad (7)$$

(<http://www.kchsz.sjf.stuba.sk/start2.html>).

Metóda rovnakých hustôt

Používa sa pri stanovení hustoty veľmi malých tuhých telies, ktoré sa vznášajú v kvapaline rovnakej hustoty. Kvapalina požadovanej hustoty sa získa napr. zmiešaním dvoch kvapalín o rôznych hustotách – mení sa ich pomer dovedy, pokiaľ sa tuhé telieska na hladine nevznášajú. Vtedy je hustota kvapaliny rovná hustote tuhej látky. Hustotu tuhej látky možno stanoviť pomocou predchádzajúcich metód. Hustota kvapalín je funkciou teploty, do vzťahov pre výpočet treba dosadzovať hodnoty hustôt pri podmienkach merania (<http://www.kchsz.sjf.stuba.sk/start2.html>).

Metódy merania hustoty kvapalných látok

Hustota kvapalín ρ_k sa najčastejšie stanovuje:

- pyknometrickou metódou,
- pomocou ponorného telieska - Mohrove (Archimedove) váhy (vztlaková metóda),
- hustomerom (vztlaková metóda).

Metóda pyknometrická (váženie)

Používa sa pri určovaní neznámej hustoty látky na základe porovnania rovnakého objemu tejto látky a látky so známou hustotou ρ_2 . Pri správnom a presnom dodržaní pracovného postupu je to veľmi presná metóda merania (<http://www.kchsz.sjf.stuba.sk/start2.html>).

Metóda ponorného telieska

Je modifikovanou hydrostatickou metódou (opis vyššie), ktorá sa používa na stanovenie hustoty tuhých telies. Ponorné teleso hustoty ρ_t sa odváži na hydrostatických váhach na vzduchu – m_{z1} , ponorené v kvapaline o známej hustote ρ_2 – m_{z2} a v meranej kvapaline s neznámou hustotou ρ_k – m_{z3} .

Hustota ponorného telesa sa vypočíta z nasledujúcich vzťahov:

- pre váženie na vzduchu a v kvapaline so známou hustotou ρ_2 :

$$\rho_t = \frac{\rho_2 \cdot m_{z1} - \rho \cdot m_{z2}}{m_{z1} - m_{z2}} \quad (8)$$

- pre váženie na vzduchu a v kvapaline s neznámou hustotou ρ_k :

$$\rho_t = \frac{\rho_k \cdot m_{z1} - \rho \cdot m_{z3}}{m_{z1} - m_{z3}} \quad (9)$$

- kombináciou uvedených vzťahov sa získa vzťah pre výpočet hustoty ρ_k :

$$\rho_k = \frac{m_{z1} - m_{z3}}{m_{z1} - m_{z2}} \cdot (\rho_2 - \rho) + \rho \quad (10)$$

Na princípe metódy ponorného telieska pracujú Mohrove váhy. Sú to nerovnoramenné váhy s ponorným telieskom, ktoré je zavesené na dlhšom ramene. Toto rameno je zárezmi rozdelené na 10 rovnakých dielov, na ktoré sa vešajú závažia, ktorých hmotnosť je daná v pomere 1 : 10 : 100. Zárezy priradujú hodnoty stupnice k príslušnej desatinnej dekáde čísla vyjadrujúceho hustotu v $[\text{g}/\text{cm}^3]$. Z polohy závaží zavesených na ramene váh po vyvážení ponorného telesa v známej a meranej kvapaline sa odčíta hodnota hustoty kvapaliny. Pri meraní hustoty kvapaliny pri teplote inej ako 20°C je potrebné korigovať nameraný údaj na hustotu, nameranú pri $t = 20^\circ\text{C}$ (<http://www.kchsz.sjf.stuba.sk/start2.html>).

Použitie hustomera

Používajú sa na rýchle meranie hustoty kvapalín. Sú to zatavené sklené trubice prispôbené k plávaniu vo zvislej polohe. V kvapaline sa hustomer ponorí do takej hĺbky, pri ktorej je jeho hmotnosť rovnaká ako hmotnosť ním vytlačenej kvapaliny.

Hĺbka ponoru je teda funkciou hustoty meranej kvapaliny. Existujú hustomery pre kvapaliny vyznačujúce sa menšou i väčšou hustotou, ako je hustota vody. Stupnice môžu vyjadrovať hustotu kvapaliny alebo percento rozpustenej či emulgovanej látky (<http://www.kchsz.sjf.stuba.sk/start2.html>).

Metódy merania hustoty plynných látok

Najčastejšie sa stanovuje pomocou:

- pyknometrickej metódy,
- plynových váh,
- efuziometra – z doby výtoku rovnakých objemov plynov.

Metóda pyknometrická

Princíp je rovnaký ako pri stanovení hustoty kvapalín. S určitými úpravami sa dá použiť i na stanovenie hustôt pár. Najprv treba odvážiť prázdny otvorený pyknometer na vzduchu – m_{z1} , potom pyknometer naplnený meraným plynom – m_{z3} a nakoniec pyknometer naplnený kvapalinou známej hustoty ρ_2 – hmotnosť m_{z2} . Hustota meraného plynu sa získa aplikovaním vzťahu:

$$\rho_p = \frac{m_{z3} - m_{z1}}{m_{z2} - m_{z1}} \cdot (\rho_2 - \rho) + \rho. \quad (11)$$

Uvedená metóda sa vyznačuje vysokou experimentálnou náročnosťou pri požiadavke dosiahnuť presnejšie výsledky (<http://www.kchsz.sjf.stuba.sk/start2.html>).

4.1.2 Vlhkosť biopalív

Biopalivá je možné spaľovať v rôznych formách. Zatiaľ sú najväčším dodávateľom aj spotrebiteľom drevospracujúce závody. Preto uveďme na pravú mieru zvyklosti drevospracujúceho priemyslu, kde sa používa iné vyjadrovanie obsahu vody oproti bežnej energetickej praxi. Preto je nutné vždy presne vedieť, o aké vyjadrovanie obsahu vody práve ide (*Pastorek, 2004*). V drevospracujúcom priemysle sa obsah vody v drevnej hmote vyjadruje podľa vzťahu pre absolútnu vlhkosť:

$$w_d = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \quad (12)$$

Kde: m_1 - je hmotnosť vzorky surovej drevnej hmoty (kg),

m_2 - je hmotnosť vzorky po vysušení (kg).

V energetike sa vyjadruje obsah vody (pri rovnakom použití označenia) vzťahom pre relatívnu vlhkosť:

$$\omega = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (13)$$

Tab. 2

Porovnanie drevárskej a energetickej vlhkosti

Drevárska vlhkosť w_d	Energetická vlhkosť ω
0	0
10	11
20	25
30	43
40	67
50	100
60	150
70	230
80	400

(Zdroj: *Pastorek, 2004*)

Z hľadiska uloženia vody v dreve vlhkosť môžeme rozdeliť na:

- vodu chemicky viazanú - je súčasťou chemických zlúčenín. Nie je možné ju z dreva odstrániť sušením, ale len spálením, preto je v dreve zastúpená i pri nulovej absolutnej vlhkosti dreva. Zisťuje sa pri chemických analýzach dreva a jej celkové množstvo predstavuje 1-2% sušiny dreva. Pri charakteristike fyzikálnych a mechanických vlastností nemá žiadny význam,
- vodu viazanú (hygroskopickú) - nachádza sa v bunčných stenách a je viazaná vodíkovými mostíkmi na hydroxilové skupiny OH amorfnej časti celulózy a hemicelulózy. Voda viazaná sa v dreve vyskytuje pri vlhkosti 0-30%. Pri charakteristike fyzikálnych a mechanických vlastností má najväčší a zásadný význam,
- vodu voľnú (kapilárnu) - vyplňuje v dreve lumeny buniek a medzibunčné priestory. Pri charakteristike fyzikálnych a mechanických vlastností má podstatne menší význam než voda viazaná (<http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=node/39>).

Hranicu medzi vodou viazanou a voľnou stanovujeme na základe určenia medze nasýtenia bunkových stien *MNBS* alebo medze hygroskopicity *MH*. Ide o stav, pri ktorom je bunčná stena plne nasýtená vodou a lumen pritom neobsahuje žiadnu vodu voľnú. Rozdiel medzi *MNBS* a *MH* spočíva v prostredí, ktorému je drevo vystavené. U *MNBS* je to voda v skupenstve kvapalnom, u *MH* v skupenstve plynnom. Pri teplote 15-20°C majú obe veličiny približne rovnakú hodnotu (kol. 30%), ale na rozdiel od *MNBS* je *MH* závislá na teplote prostredia a s rastúcou teplotou klesá. Závislosť *MNBS* (*MH*) na hustote dreva možno vyjadriť vzťahom:

$$MNBS = \left(\frac{1}{\rho_k} - \frac{1}{\rho_0} \right) \rho_{H_2O} \quad (14)$$

Kde: ρ_k - konvenčná hustota dreva (g.cm^{-3}),
 ρ_0 - hustota absolútne suchého dreva (g.cm^{-3}),
 ρ_{H_2O} - hustota vody (g.cm^{-3})
(<http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=node/39>).

Nasiakavosť

Nasiakavosť dreva je schopnosť dreva v dôsledku pórovitej stavby nasávať vodu vo forme kvapaliny. Množstvo voľnej vody je závislé predovšetkým na objeme pórov v dreve. Teoreticky je možné maximálnu vlhkosť dreva vypočítať vzhľadom k závislosti na hustote dreva zo vzťahu:

$$w_{max} = MNBS + \left(\frac{1}{\rho_k} - \frac{1}{\rho_s} \right) \quad (15)$$

Vzťah je možné zjednodušiť na tvar:

$$w_{max} = \left(\frac{1}{\rho_k} - \frac{1}{\rho_s} \right) \quad (16)$$

Kde: w_{max} - maximálna vlhkosť dreva ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$),
 ρ_s - hustota drevnej substancie ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
(<http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=node/39>).

Vplyv faktorov na vlhkosť dreva

Na vlhkosť dreva má najväčší vplyv stavba a hustota dreva, teplota a mechanické namáhanie dreva. Rozloženie vlhkosti v kmeni rastúceho stromu je nerovnomerné a mení sa s výškou a s priemerom kmeňa. U listnatých stromoch je vlhkosť dreva po priemere kmeňa rozložená omnoho rovnomernejšie. S výškou stromu sa vlhkosť u ihličnanoch zvyšuje, čo neplatí pre listnaté dreviny, kde sa vlhkosť s výškou takmer nemení. Takisto vlhkosť mladých stromov je vyššia než vlhkosť stromov starších. Vlhkosť dreva sa mení aj v priebehu roka. Maximálna vlhkosť dreva je dosahovaná v zimnom období, minimálna je počas leta. Popri sezónnych zmien kolísava vlhkosť dreva aj v priebehu dňa. Vlhkosť dreva má veľký význam pri spracovaní dreva a použití výrobkov z dreva. Táto vlhkosť sa označuje za technickú vlhkosť. Technická vlhkosť zahrňuje ako výrobnú tak aj prevádzkovú vlhkosť. Ako obecné správne sa považuje pravidlo, že výrobná vlhkosť sa má rovnať prevádzkovej vlhkosti, resp. u niektorých druhoch výrobkov má byť o 1 – 2 % nižšia. Tým sa predíde nežiaducim deformáciám v dôsledku kolísania teploty a relatívnej vlhkosti prostredia (<http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=node/39>).

Metódy merania vlhkosti dreva

Podľa vlhkosti sa drevo často v praxi zaraďuje do nasledujúcich skupín:

- drevo mokré, dlhú dobu uložené vo vode ($w > 100 \%$),
- drevo čerstvo spíleného stromu ($w = 50 - 100 \%$),
- drevo vysušené na vzduchu ($w = 15 - 22 \%$),
- drevo vysušené na izbovú teplotu ($w = 8 - 15 \%$),
- drevo absolútne suché ($w = 0 \%$).

Na zisťovanie vlhkosti dreva sa používa celá rada metód, ktoré sa delia na:

- priame (absolútne) metódy, ktorými zisťujeme skutočný obsah vody v dreve,
- nepriame (relatívne metódy, ktorými sa obsah vody určuje nepriamo prostredníctvom merania inej veličiny, ktorej hodnota závisí na obsahu vody v dreve.

Z priamych metód sa používa hlavne metóda váhová (gravimetrická) a destilačná. Z nepriamych metód sú rozšírené metódy elektrofyzikálne (odporová, dielektrická), rádiometrické (založené na absorpcii rôznych druhov zariadení), akustické (využitie rýchlosti šírenia alebo absorpcie zvuku a ultrazvuku) a termofyzikálne. V sušiarenskej praxi sa ďalej používa metóda zisťovania priemernej vlhkosti sušeného reziva pomocou merania zosychania. K najpraktickejším a zároveň najpoužívanejším spôsobom merania vlhkosti dreva pre svoju jednoduchosť a rýchlosť patrí meranie pomocou vlhkomerov. Trend súčasného vývoja prístrojov na meranie vlhkosti tiež potvrdzuje, že najperspektívnejšou sú stále elektrické vlhkomery (<http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=node/39>).

Meranie vlhkosti gravimetrickou (váhovou) metódou

Gravimetrická metóda je priama metóda, ktorá vychádza z definičného vzorca vlhkosti. Táto metóda je najpresnejšia metóda určenia vlhkosti dreva a je takisto referenčnou metódou pri posudzovaní presnosti ostatných metód.

Pracovný postup pri gravimetrickej metóde spočíva v zistení hmotnosti vlhkého dreva m_w a absolútne suchého dreva m_0 po jeho vysušení pri teplote $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Sušenie sa kontroluje opakovaným vážením. Drevo sa za vysušené považuje vtedy, keď medzi nasledujúcimi dvomi váženiami v intervale 2 hodín sa hmotnosť nezmení o viac než 0,02 g, resp. 1%. U drevotriekových a drevovláknitých doskách sa hmotnosť vzorky považuje za stálu, keď rozdiel medzi dvoma po sebe nasledujúcimi váženiami v intervale 6 hodín nepresahuje 0,1g hmotnosti skúšanej vzorky. Výhodou gravimetrickej metódy je jej vysoká presnosť, k nevýhodám patrí náročnosť na čas, prácnosť prípravy teliesok a nemožnosť kontinuálneho merania vlhkosti (<http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=node/39>).

Meranie vlhkosti dreva nepriamymi metódami

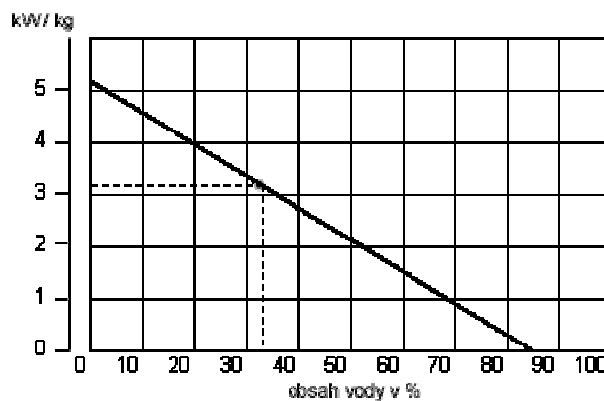
Z nepriamych metód je u dreva najčastejšie využívané meranie elektrofyzikálnych veličín, ktoré vykazujú určitú závislosť na vlhkosti dreva. Vlhkosť dreva výrazne ovplyvňuje všetky základné elektrofyzikálne veličiny dreva, preto sa všetky z týchto vlastností môžu použiť pre účely merania vlhkosti dreva. Vlhkomery teda bežne merajú niektorú elektrickú veličinu, ktorá však priamo nepredstavuje materiálovú charakteristiku.

S ohľadom na druh elektrického napätia môžeme vlhkomery rozlišovať na:

- odporové s jednosmerným napätím,
- dielektrické so striedavým napätím.

Konkrétna elektrická veličina, ktorá slúži pre zisťovanie vlhkosti je však ovplyvňovaná aj ďalšími fyzikálnymi činiteľmi. Tieto môžeme rozdeliť na :

- vnútorné, dané vlastnosťami materiálu (druh, hustota, teplota),
- vonkajšie, tvoriace podmienky merania (frekvencia a intenzita elektrického pola, relatívna vlhkosť vzduchu) (<http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=node/39>).



Obr. 8

Závislosť výhrevnosti paliva na obsahu vody v dreve

(Zdroj: http://www.drevoplyn.sk/atmos_pae.php)

4.1.3 Výhrevnosť a spalné teplo

Spalné teplo a výhrevnosť sú najdôležitejšie energetické charakteristiky paliva. Keď sa uvažuje s využitím poľnohospodárskej biomasy na energetické účely, musíme k tejto biomase pristupovať ako k palivu. Pri meraní je používaná kalorimetrická metóda, ktorá je najbežnejšou používanou metódou určenou na sledovanie správania sa materiálu v prostredí s prudko rastúcou teplotou. Spalné teplo a výpočet výhrevnosti sa uskutočňuje podľa príslušnej normy *STN ISO 1928 441 352: Tuhé palivá, stanovenie spalného tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výkonnosti* (<http://www.polnohospodarskabiomasa.sk/index.php?c=5.2>).

Základné pojmy v oblasti výhrevnosti charakterizované normami:

- spalné teplo pri konštantnom objeme (gross calorific value at constant volume) je absolútna hodnota špecifickej energie spaľovania v J na jednotku hmotnosti tuhého paliva uvoľnené jeho spálením v kyslíku v kalorimetrickej tlakovej nádrži za predpísaných podmienok. Predpokladá sa, že splodiny horenia sa skladajú z plynného O, N, CO₂, SO₂, vody v kvapalnom stave (v rovnováhe s parou) nasýtenej CO₂ za reakčných

podmienok v tlakovej nádrži a popola v tuhom stave, to všetko pri referenčnej teplote,

- výhrevnosť pri konštantnom objeme (net calorific value at constant volume) je absolútna hodnota špecifickej energie spaľovania v J na jednotku hmotnosti paliva uvoľnená jeho spálením v kyslíku pri konštantnom objeme a za podmienok, že celková voda reakčných splodín zostáva vo forme vodnej pary, v hypotetickom stave (pri 0,1 MPa), ostatné splodiny sú v stave ako pri spalnom teple, to všetko pri referenčnej teplote,
- výhrevnosť pri konštantnom tlaku (net calorific value at constant pressure) je absolútna hodnota energie spálenia (entalpie) v J na jednotku hmoty palivo uvoľnené jeho spálením v kyslíku za konštantného tlaku a takých podmienok, že celková voda z reakčných splodín je vo forme vodnej pary (pri 0,1 MPa) ostatné splodiny sú v stave, ako za spalného tepla, to všetko pri referenčnej teplote,
- referenčná teplota 25 °C pre termochémiu,
- efektívna tepelná kapacita kalorimetra je množstvo energie potrebnej pre zmenu teploty o 1 K (kelvin),
- opravený teplotný vzostup je zmena teploty v kalorimetri vyvolaná výhradne reakciami nastávajúcimi v tlakovej nádobe pri spaľovaní,
- spalné teplo - zvážený podiel analytickej vzorky tuhého paliva sa spáli v kyslíku za vysokého tlaku v tlakovej nádobe kalorimetra za predpísaných podmienok. Hodnota spalného tepla sa vypočíta z opraveného teplotného vzostupu a efektívnej tepelnej kapacity kalorimetra so zreteľom na podiely energie pri zapálení, spálení zapaľovacích prostriedkov a tepelné účinky z vedľajších reakcií, ako je vznik kyseliny dusičnej. Ďalej sa uskutočňuje oprava za započítanie rozdielu energie medzi roztokom kyseliny sírovej, vzniknutej pri reakcii v tlakovej nádobe a plynným oxidom siričitým (<http://www.polnohospodarskabiomasa.sk/index.php?c=5.2>).

Výhrevnosť

Jednou z možností využitia biomasy je jej premena na tepelnú energiu, teda jej spaľovanie. Podľa analýz Ministerstva pôdohospodárstva energetický potenciál využívania biomasy predstavuje teoreticky asi 15 % všetkých primárnych energetických zdrojov SR. Výhrevnosť patrí medzi základné fyzikálne parametre palív. Čím je vyššia výhrevnosť materiálu, tým viac tepla sa získa jeho spálením. Výhrevnosť je udávaná v príslušných jednotkách, záleží od druhu či skupenstva materiálu. Čistá výhrevnosť materiálu je výhrevnosť, ktorá je očistená od energie potrebnej na odparenie vody (Porvaz, 2007).

Výhrevnosť úplne zdravého a suchého dreva je pomerne vysoká. U listnatých drevín je to 18 MJ.kg⁻¹ a u ihličnatých drevín 19 MJ.kg⁻¹. Rovnaké hodnoty výhrevnosti majú slama obilnín a traviny. Je to asi necelá polovica výhrevnosti ropných palív. V skutočnosti však biomasa vždy obsahuje najmenej 10 % vody. V priemere majú drevo a štiepka prevetrávané a skladované pod strechou asi 30 % vlhkosti. Vlhkosť slamy v balíkoch uskladnených v halových skladoch alebo v zakrytých stohoch dosahuje 14 až 16 %. Pri horení sa táto voda odparuje a tým znižuje základnú výhrevnosť sušiny biomasy. Ak je teplota spalín za kotlom (výmenníkom) vyššia ako 101 °C, toto teplo obsiahnuté vo vodnej pare sa nevyužije (Pastorek, 2004).

Skutočná výhrevnosť sa vyjadří vzťahom:

$$H_u = \frac{H_{uwf} \cdot (100 - w) - (l \cdot w)}{100} \quad (16)$$

Kde: H_u - je skutočná výhrevnosť paliva (MJ. kg⁻¹),

H_{uwf} - výhrevnosť sušiny (MJ.kg⁻¹),

w - obsah vody v palive (%),

l - teplo potrebné k odpareniu 1 kg vody (2,44 MJ) (Pastorek, 2004).

V kotlových systémoch na výrobu tepla z biomasy je možné spaľovať pevný biomasový materiál s obsahom vody približne od 7 % do 60 % z celkovej hmotnosti. Tomuto percentuálnemu obsahu vody prislúchajú aj nasledovné výhrevné hodnoty biomasy:

Tab. 3
Výhrevné hodnoty biomasy

Typ biomasy	Obsah vody	Výhrevnosť
bez obsahu vody a popola		19,40 MJ.kg ⁻¹
veľmi suché typy biomasy (peletky)	7 %	17,80 MJ.kg ⁻¹
veľmi mokré typy biomasy (čerstvá lesná štiepka)	60 %	6,18 MJ.kg ⁻¹

(Zdroj: Pastorek, 2004)

Spalné teplo

Spalné teplo je také množstvo tepla, ktoré sa uvoľní dokonalým spálením jednotkového množstva paliva. Predpokladá sa, že voda, uvoľnená spaľovaním skondenzuje a energiu chemickej reakcie nie je potrebné redukovať o jej skupenské teplo. Tým sa spalné teplo líši od výhrevnosti, kde sa predpokladá na konci reakcie voda v plynnom skupenstve. Preto je hodnota spalného tepla väčšia alebo rovná hodnote výhrevnosti. Spalné teplo sa označuje q . Jednotky závisia na voľbe jednotkového množstva látky a energie. Obvykle je to J.kg⁻¹, ale používajú sa aj J.mol a J.m⁻³ (http://cs.wikipedia.org/wiki/Spaln%C3%A9_teplo).

Výhrevnosť, spalné teplo a obsah popola rôznych druhov poľnohospodárskej biomasy sú uvedené v tabuľke č. 4.

Tab. 4
Tabuľka výhrevnosti, spalného tepla a obsahu popola biomasy

Druh biomasy	Spalné teplo v MJ.kg ⁻¹	Výhrevnosť v MJ.kg ⁻¹	Obsah popola v %
repka -semeno	27,67	26,40	3,1
výlisky z repky z výroby MERO	21,86	20,62	6,1
borievka –celá rastlina	20,94	19,62	2,4
breza- drevo	20,77	19,48	1,2

repka -celá rastlina	20,43	19,17	4,3
osika- drevo	20,12	18,84	2,6
ozdobnica čínska -slama	19,97	18,75	6,6
jelša- drevo	19,89	18,61	1,2
šípka- drevo	19,80	18,51	2,1
hloh - drevo	19,57	18,29	4,8
vřba - drevo	19,54	18,27	1,6
baza - drevo	19,54	18,22	3,3
marhuľa -drevo	19,33	18,06	4,1
lieska -drevo	19,20	17,94	1,8
ovos -zrno	19,19	17,92	3,2
jabloň -drevo	19,13	17,84	1,8
vinič -drevo	18,73	17,44	2,5
kukurica -vreteno bez zrna	18,63	17,34	1,6
kukurica -zrno	18,64	17,34	1,2
rakyta -drevo	18,54	17,29	2,9
pelety z pasienkovej zmesi	18,64	17,21	9,5
pšenica -zrno	18,46	17,18	1,6
konopa technická	18,33	17,16	10,4
kukurica -slama	18,36	17,11	4,6
krídlatka	18,40	16,97	4,1
repka -slama	17,78	16,49	6,9
tritikale -slama	17,75	16,49	4,5
lúčne seno	17,92	16,48	5,5
pšenica -slama	17,67	16,37	5,7
tritikale -zrno	17,65	16,35	1,9
sója -slama	17,48	16,26	7,2
pšenica -celá rastlina	17,50	16,22	2,7
jačmeň -slama	17,36	16,06	5,7
topinambur -slama	17,19	16,02	11,4
hrach -slama	17,30	16,01	6,1
tritikale -celá rastlina	17,25	16,00	4,4
tabak -stonky	17,16	15,94	7,1
jačmenné plevy	17,03	15,79	11,6
pelety z obilného prachu	16,51	15,26	15,3
amarantus (láskavec)-slama	16,28	15,14	13,5
slnečnica -slama	14,31	13,16	12,9
hnedé uhlie	13,25	12,05	7,3
biokal po separácii z BPS	10,51	9,80	53,4

(Zdroj <http://www.polnohospodarskabiomasa.sk/index.php?c=5.2>)

4.2 Termofyzikálne vlastnosti

4.2.1 Hmotnostná tepelná kapacita

Množstvo tepla potrebného na zvýšenie teploty látky závisí od hmotnosti látky, chemického zloženia, vnútornej štruktúry (stavby). To množstvo tepla, ktoré musíme telesu dodať/odobrať, aby sme zvýšili/znížili jeho teplotu o 1 K (1 °C), nazývame tepelnou kapacitou telesa C . Definujeme ju vzťahom:

$$C = \frac{dQ}{dT}, \quad (J.K^{-1}) \quad (17)$$

Tepelná kapacita teda vyjadruje podiel elementárneho množstva tepla dQ telesu dodaného a príslušnej zmeny teploty dT súvisiacej s dodaním tepla. Tepelná kapacita látky prepočítaná na jednotkovú hmotnosť (1 kg) je hmotnostná tepelná kapacita látky a je definovaná vzťahom:

$$c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT}, \quad (18)$$

alebo pre konečné zmeny:

$$c = \frac{1}{m} \frac{\Delta Q}{\Delta T}, \quad (J.kg^{-1}.K^{-1}) \quad (19)$$

Kde: m - hmotnosť telesa,
 ΔQ - teplo dodané alebo odobrané,
 ΔT - zmena teploty.

Hmotnostná tepelná kapacita c je teda množstvo tepla, ktoré musíme dodať alebo odobrať 1 kg látky na to, aby sa jeho teplota zmenila o 1 K (1 °C). Hodnota hmotnostnej tepelnej kapacity závisí od podmienok, za ktorých sa teplo látke dodáva. Vo všeobecnom prípade hovoríme o hmotnostnej tepelnej kapacite pri konštantnom objeme c_v a pri konštantnom tlaku c_p . Hmotnostné tepelné kapacity c_v a c_p sa u tuhých látok líšia veľmi málo, takže v bežných prípadoch k ich rozdielu nie je potrebné prihliadať.

Pri dostatočne vysokých teplotách ako aj pri izbových teplotách je hmotnostná tepelná kapacita tuhých látok veličina konštantná (<http://tarjanyiova.fyzika.uniza.sk/tepkap.pdf>).

4.2.2 Koeficient tepelnej vodivosti

Koeficient tepelnej vodivosti k charakterizuje proces šírenia tepla v látkach a ich schopnosť viesť teplo t.j. prenášať kinematickú energiu neusporiadaného pohybu medzi molekulami bez prúdenia látky a je určená podielom tepelného toku a teplotného gradientu v látke $gradT$. Zo skúseností vieme že ak nejakú látku na jednom mieste zohrievame, tak teplo sa postupne šíri aj na ostatné časti látky. Ak na dvoch stranách steny je rôzna teplota, potom sa teplo šíri z teplejšej strany na chladnejšiu (*Krempaský, 1969*). Nech teplota na teplejšej strane steny je T_2 a teplota na chladnejšej T_1 , množstvo tepla, ktoré prejde cez stenu plošného rozmeru S za čas t je dané vzťahom:

$$\Delta Q = -k \frac{T_2 - T_1}{d} S \cdot \Delta t, \quad (20)$$

Kde:	T_1, T_2 - teplota na oboch stranách steny	(K)
	d - hrúbka steny	(m)
	S - plošný obsah steny	(m ²)
	t - čas, za ktorý teplo prechádza	(s)
	k - koeficient tepelnej vodivosti	(W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
	Q - množstvo tepla	(J)

Prepočítaním preneseného tepla Q na jednotku plochy a jednotku času, dostaneme hustotu tepelného toku:

$$q = \frac{\Delta Q}{S \Delta t}, \quad (21)$$

resp. pre vektor hustoty tepelného toku dostávame:

$$\vec{q} = \frac{dQ}{\vec{S} dt}. \quad (22)$$

Nahradením výrazu $(T_2 - T_1)/d$ v rovnici (20) teplotným gradientom $gradT$ dostaneme nasledujúcu rovnicu:

$$\bar{q} = -k gradT, \quad (23)$$

Kde: \bar{q} - je vektor hustoty tepelného toku ($W.m^{-2}$)
 k - koeficient tepelnej vodivosti ($W.m^{-1}K^{-1}$)
 $gradT$ - teplotný gradient ($K.m^{-1}$)

Znamienko mínus vo Fourierovom zákone znamená, že tepelný tok je orientovaný v smere poklesu teploty . Koeficient tepelnej vodivosti k číselne znamená množstvo tepla, ktoré v ustálenom stave prechádza jednotkovým prierezom látky pri jednotkovom teplotnom gradiente za jednotku času (*Krempaský, 1969*).

Koeficient tepelnej vodivosti závisí od viacerých faktorov:

- od štruktúry látok,
- tlaku,
- teploty,
- vlhkosti,
- mernej hmotnosti,
- elektrického a magnetického poľa,
- v prípade sypkých materiálov od sypnej hmotnosti (*Krempaský, 1969*).

Tab. 5

Hodnoty koeficientov tepelnej vodivosti niektorých materiálov

Materiál	Voda	Slama	Drevo	Obilná masa	Vzduch
Koeficient tepelnej Vodivosti ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	0,598	0,058	0,14-0,37	0,14-0,23	0,0252

(Zdroj: *Krempaský, 1969*)

4.2.3 Koeficient teplotnej vodivosti

Teplotná vodivosť je definovaná pomocou tepelnej vodivosti, merného tepla a mernej hmotnosti. Koeficient teplotnej vodivosti a charakterizuje rýchlosť vyrovnávania teplotných rozdielov pri neustálenom šírení tepla v látke podľa rovnice:

$$\frac{dT}{dt} = a \frac{d^2T}{dx^2}, \quad (24)$$

a je určený podielom tepelnej vodivosti a merného tepla s mernou hmotnosťou látky:

$$a = \frac{k}{c \cdot \rho}, \quad (25)$$

kde	a - je koeficient teplotnej vodivosti	$(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
	k - koeficient tepelnej vodivosti	$(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
	c - merná tepelná kapacita	$(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
	ρ - merná hmotnosť látky	$(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$

Číselne sa rovná zmene teploty jednotkového objemu látky, vyvolanej množstvom tepla, ktoré prejde za časovú jednotku jednotkovou plochou vrstvy jednotkovej hrúbky a s jednotkovým rozdielom teplôt na jej čelných stranách (*Krempaský, 1969*).

4.2.4 Metódy merania

Najmä v posledných rokoch sa tepelné charakteristiky stali v mnohých aplikáciách určujúcimi veličinami a dôležitými charakteristikami javov odohrávajúcich sa v látkach sa začali hľadať optimálne metódy na ich meranie. Požiadavky na tieto metódy sú: rýchlosť, spoľahlivosť, reprodukovateľnosť a dostatočná presnosť. Základom všetkých metód merania termofyzikálnych veličín je znalosť rozloženia teploty vo vzorke.

Toto rozloženie je možné pri zadaných podmienkach vypočítať riešením diferenciálnej rovnice (Krempaský, 1969):

$$c\gamma \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\lambda \text{grad}T) + q_v \quad (26)$$

Resp. ak je látka izotropná:

$$c\gamma \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q_v \quad (27)$$

Teda všetky meracie metódy možno rozdeliť podľa toho, akým spôsobom sa vo vzorke vytvára teplotný gradient. Na základe uvedeného kritéria môžeme všetky metódy merania rozdeliť predovšetkým do dvoch skupín (Krempaský, 1969):

- bezzdrojové $q_v = 0$
- zdrojové $q_v \neq 0$

Na povrchu vzorky alebo vo vzorke pôsobí vonkajší tepelný zdroj s nenulovým výkonom.

Bezzdrojové metódy možno ďalej rozdeliť na:

- stacionárne - pri meraní sa čaká na vytvorenie ustáleného stavu,
- nestacionárne - meria sa teplota v prechodovom stave (Krempaský, 1969).

Metódy používajúce zdroj

Podľa tvaru zdroja :

- bodové zdroje,
- líniové zdroje,
- plošné zdroje,
- objemové zdroje,
- kombinované zdroje.

Podľa tvaru meranej vzorky :

- vzorky nedefinovaného tvaru - nekonečné prostredie,
- vzorky nedefinovaného tvaru - polonekonečné prostredie,
- vzorky definovaného geometrického tvaru (doštičky, valce atď.),
- veľmi tenké doštičky a tenké vrstvy.

Podľa časového priebehu :

- impulzové zdroje,
- konštantne pôsobiace zdroje,
- periodicky pôsobiace zdroje,
- všeobecne pôsobiace zdroje (*Krempaský, 1969*).

Metódy nepoužívajúce zdroj

Stacionárne:

- absolútne,
- relatívne.

Nestacionárne:

- metódy regulárneho stavu I. druhu,
- metódy regulárneho stavu II. druhu,
- metódy konštantnej začiatkovej teploty,
- metódy všeobecnej teplotnej zmeny,
- metódy periodickej teplotnej zmeny,
- metódy radiačných vln (*Krempaský, 1969*).

Merací prístroj ISOMET 104

Na meranie metódou horúceho drôtu bude použitý merací prístroj ISOMET 104. ISOMET je mikroprocesorom riadený ručný prístroj na meranie koeficientu tepelnej vodivosti, objemovej tepelnej kapacity, koeficientu teplotnej vodivosti a teploty kompaktných, sypkých a kvapalných materiálov. Merania sa uskutočňujú pomocou výmenných ihlových a plošných sond. Každá sonda obsahuje pamäť, v ktorej sú uložené kalibračné konštanty, čím je dosahovaná variabilnosť zostavy. Prístroj komunikuje s užívateľom prostredníctvom membránovej klávesnice a alfanumerického 2 - riadkového a 16 - znakového displeja formou ponúkaného menu. Rozsah pracovnej teploty prístroja je od 0 °C do 40 °C. Obsah vnútornej pamäte prístroja sa uchováva aj pri odpojení napájania prístroja. Celková kapacita pamäte je 500 meraní.

Napájanie je zabezpečené sieťovým adaptérom 7-9 V/ 500 mA a NiCd akumulátorom, čím je umožnené meranie aj v teréne (*ISOMET 104, 1999*).

Výrobca udáva tieto chyby merania:

- koeficient tepelnej závislosti: $\pm 10\%$ hodnoty $+ 0,005 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- merná objemová tepelná kapacita: $\pm 15\%$ $+ 3,10^3 \text{ Jm}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$

Získavanie údajov z meracieho zariadenia sa uskutočňuje buď priamym odčítaním údajov z meradla ISOMET 104, alebo pripojením meradla pomocou rozhrania RS232 k PC pre softwarovú komunikáciu (*ISOMET 104, 1999*).

Výstupné údaje sú:

- koeficient tepelnej vodivosti λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$),
- objemová tepelná kapacita c_p ($\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$),
- koeficient teplotnej vodivosti a ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$),
- teplota T ($^{\circ}\text{C}$).

Ďalšie údaje uvádzané výrobcom ako sú: rozsah merania, rozlišovacia schopnosť meracieho zariadenia a relatívna štandardná neistota merania sú uvedené v tabuľke (*ISOMET 104, 1999*).

Tab. 6

Výrobcom udávané charakteristiky zariadenia ISOMET 104

Rozsah merania	Koeficient tepelnej vodivosti	0,015 až 1,000 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ (ihlová sonda) 0,030 až 5,000 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ (plošná sonda)
	Objemová tepelná kapacita	$3\cdot 10^3$ až $5\cdot 10^6 \text{ Jm}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$
	Teplota	-30°C až 80°C (v závislosti od sondy)
Rozlíšenie meranej veličiny	Koeficient tepelnej vodivosti	$0,001 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
	Objemová tepelná kapacita	$5\cdot 10^2 \text{ Jm}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$
	Teplota	$0,01^{\circ}\text{C}$

Štandardná neistota merania	Koeficient tepelnej vodivosti	< ± 10 % hodnoty + 0,001 Wm⁻¹K⁻¹
	Objemová tepelná kapacita	< ± 15 % hodnoty
	Teplota	< 1 °C

(Zdroj: ISOMET 104, 1999)

Presnosť merania parametrov je ovplyvňovaná podmienkami meracieho procesu. Faktory ovplyvňujúce presnosť merania sa označujú ako ovplyvňujúce veličiny.

Hlavné ovplyvňujúce veličiny sú :

- tepelný kontakt sondy s meraným materiálom,
- nestabilná teplota meraného materiálu,
- malé rozmery vzorky meraného materiálu,
- nehomogenita a anizotropia meraného materiálu,
- vlhkosť meraného materiálu (ISOMET 104, 1999).

Meranie termofyzikálnych veličín pomocou ISOMETU vychádza z analytického modelu teplotného poľa konštantného nekonečne dlhého zdroja valcového tvaru v neohraničenom prostredí. Po zasunutí sondy do meranej vzorky, ktorá je tepelne vodivo spojená s analyzovaným materiálom a po splnení okrajových podmienok regulovaným vyhrievaním sondy elektrickým prúdom sa v sonde začne generovať teplo, ktorého množstvo a tým aj meraný časový priebeh teploty v osi sondy závisí, okrem parametrov sondy aj od termofyzikálnych parametrov vzorky (Krempaský, 1969).

Pre vhodnú konštrukciu sondy a dostatočne dlhý čas merania t , môžeme priebeh teploty T v sonde opísať rovnicou:

$$T(t) = A \ln(t) + B \quad (28)$$

kde A a B sú konštanty závislé od parametrov sondy a od tepelných vlastností meranej vzorky. Na základe uvedenej rovnice vo vhodne zvolenom časovom intervale vypočítame lineárnu regresiu medzi parametrami T a $\ln(t)$, pričom reprezentuje smernicu prelozenej priamky:

$$A = \frac{dT}{d(\ln t)} \quad (29)$$

Koeficient tepelnej vodivosti k potom vypočítame podľa vzťahu:

$$k = \frac{K_1}{A} + C \quad (30)$$

Koeficient teplotnej vodivosti a zo vzťahu:

$$a = \frac{\sqrt{\left(K_2 A^2 e^{\frac{B}{A}}\right)^2 + 4K_3 A e^{\frac{B}{A}} - K_2 A^2 e^{\frac{B}{A}}}}{2} \quad (31)$$

pričom:

$$K_1 = \frac{RI^2}{4\pi l}, K_2 = \frac{m_l c_p r_0^2}{8\pi K_1}, K_3 = \frac{r_0^4}{8},$$

kde: K_1, K_2, K_3 a C - konštanty,
 R - odpor drôtu,
 I - napájací prúd,
 l - aktívna dĺžka sondy,
 m_l - hmotnosť jednotky dĺžky sondy,
 c_p - hmotnostná tepelná kapacita sondy,
 r_0 - charakteristický rozmer sondy.

Hmotnostnú tepelnú kapacitu dostaneme zo vzťahu:

$$c = \frac{\lambda}{a\rho} \quad (32)$$

Kde: λ - koeficient tepelnej vodivosti,
 ρ - merná hmotnosť mernej vzorky (*Krempaský, 1969*).

4.3 Experimentálna aparatúra

4.3.1 IKA Kalorimetrický systém C 5000 control

Kalorimetrický systém C 5000 control sa používa k určeniu spalnej hodnoty pevných látok a kvapalných látok. Systém zodpovedá platným normám o spalnej hodnote a je preto celosvetovo uznávaný. Bohaté príslušenstvo ako aj modulovateľná výstavba systému poskytujú individuálne prispôsobenie sa na laboratórne úlohy. Počas priebehu pokusu sa kontrolovaný software stará o komunikáciu s externými prístrojmi (napr. analytické váhy, zásobník vzoriek) ako aj o meniteľné spravovanie skúšok, kalorimetrických bômb a výsledkov pokusov (*Užívateľská príručka, IKA C 5000*).

Ďalšie vlastnosti prístroja:

- systém podlieha plnoautomatizovanému priebehu merania,
- má integrované plniace oddelenie kyslíku,
- doba určenia spalnej hodnoty je približne 15 až 25 minút,
- spôsob práce na adiabatickom, izoperibolickom alebo dynamickom princípe (*Užívateľská príručka, IKA C 5000*).

Kalorimetrický systém pozostáva:

- prístroj pozostávajúci z kontrolóra s meracou časťou,
- vidlicový kľúč SW 10,
- kalorimetrická bomba,
- sada pracovných prostriedkov C 5050,
- montážny záves,
- chladič C 5004,
- kyslíková hadica (*Užívateľská príručka, IKA C 5000*).

Predná časť prístroja sa skladá z obslužnej konzoly, displeja a riadenia a na zadnej strane prístroja sa nachádza pripojenie pre tlačiareň, externý počítač, zásobník vzoriek a analytické váhy.



Obr. 9

IKA Kalorimetrický systém C 5000 control

Technické údaje:

- prevádzkové napätie: 230/115 V, 50/60 Hz,
- príkon: 1260 Wat,
- poistka: 3,15 AT (kontrolór)
- rozmer: 560 x 380 x 397,
- hmotnosť: 38,5 kg,
- ochranná trieda: IP 21.

4.3.2 Meracia časť C 5003

V meracej časti sa uskutočňuje horenie látky za presne definovaných podmienok. Počas určovania spalnej hodnoty sa stará meracia časť o nasledujúce podmienky pokusu:

- teplota látky na spaľovanie pred horením je 22 °C,
- počas horenia dbá o atmosféru z čistého kyslíka (99,95 %) pri tlaku 30 bar,
- adiabatická meracia časť: počas horenia sa neuskutočňuje výmena tepla s okolím,

Aby sa dosiahli tieto podmienky pokusu, sú umiestnené v meracej časti nasledujúce stavebné skupiny:

- vodný kotol s vodným plášťom,
- magnetické miešadlo k dosiahnutiu rovnomerného rozdelenia tepla,
- obeh vody s čerpadlom, vyrovnávací nádrž a prípoj na externú chladiacu jednotku,
- vyhrievanie, regulátor teploty,
- zariadenie na plnenie kyslíkom (*Užívateľská príručka, IKA C 5000*).

4.3.3 Vyrovnávací nádrž

Pred uvedením prístroja do prevádzky je nutné skontrolovať celý systém, aby sa predišlo poruche, alebo nepresnostiam merania. Jedna z častí, ktorú je potrebné prekontrolovať, je množstvo vody vo vyrovnávacej nádrži. Kalorimetrický systém sa nikdy nesmie zapnúť s prázdny chladiacim obehom. Na vrchnej strane prístroja sa otvorí vyrovnávací nádrž a v prípade potreby sa doleje destilovaná voda. Destilovaná voda sa môže doliať iba po značku vody, aby dosiahla hornú hranicu plaváku. Vtedy je celkové množstvo vody vo vyrovnávacej nádrži približne 2,5 litra. V žiadnom prípade nesmie voda dosiahnuť modrý okraj plnenia, pretože by sa mohla dostať vlhkosť do meracej časti (*Užívateľská príručka, IKA C 5000*).

4.3.4 Kalorimetrická bomba

Ďalej je potrebné pripraviť pred zahájením merania kalorimetrickú bombu. Tá musí byť čistá a suchá, lebo všetky cudzie častice, zvlášť voda, by skresľovali výsledky merania a tiež musí byť bez známok poškodenia. Kalorimetrická bomba sa skladá z:

- 1- presuvnej matice,
- 2- kyslíkového ventilu,
- 3- elektrického zápalného kontaktu,
- 4- krytu,
- 5- zápalného drôtu,
- 6- držiaka téglíkov,
- 7- téglíku.



Obr. 10

Časti kalorimetrickej bomby

Obr. 11

Kalorimetrická bomba po meraní

Po každom meraní je potrebné častí kalorimetrickej bomby dôkladne očistiť a usušiť. Po meraní je téglík takmer vždy znečistený, keďže v ňom dochádza k spaľovaniu meraného prvku.

Príprava kalorimetrickej bomby

Otáčaním presuvnej matice kalorimetrickej bomby uvoľníme kryt a ten následne odstránime pomocou montážneho závesu (obr. 10 časť 8). Keď je kalorimetrická bomba rozobratá musíme pripevniť do stredu zápalného drôtu bavlnené vlákno (obr. 12) pomocou slučky. Ďalej si odvážime čistý, prázdny a suchý téglík na digitálnej váhe. Keď sa nám hodnota ustáli uložíme túto hodnotu a potom vložíme do téglíka vzorku, ktorej spalnú hodnotu chceme merať. Odvážime, zapíšeme a môžeme vložiť téglík do držiaka téglíkov. Narovnáme bavlnené vlákno pomocou pinzety tak, aby bolo zavedené do téglíka a dotýkal sa látky, čím sa zabezpečí, že pri procese zapálenia padne vlákno dolu na látku a túto zapáli. V prípade, že chceme merať spalnú hodnotu pevnej látky je nutné chrániť vnútorné časti kalorimetrickej bomby pomocou ochranných vreciek (obr. 13). Vtedy sa najprv odváži aj váha ochranného vrečka, ktorá sa musí zadávať do meracieho prístroja a až potom sa môže vzorka vložiť do vrečka, poskladať a vložiť do téglíka (*Užívateľská príručka, IKA C 5000*).



Obr. 12
Bavlnené vlákna



Obr. 13
Ochranné vrecúška

4.3.5 Procesy určovania spalnej hodnoty

Od kontrolóra obdrží meracia časť signály k prevedeniu jednotlivých krokov pokusu. Počas určovania spalnej hodnoty prebiehajú v meracej časti nasledujúce procesy:

- cez zariadenie na plnenie kyslíkom prúdi do nádoby čistý kyslík - 30 bar,
- kryt meracej časti sa automaticky uzavrie a kalorimetrická bomba s látkou na spaľovanie sa ponára do vodného kotla,
- čerpadlo plní vodný kotol a zaobstaráva cirkuláciu vody v chladiacom obehú,
- magnetické miešadlo udržuje vodu v kotli neustále v pohybe, aby bolo zabezpečené rovnomerné odovzdávanie tepla,
- látka na spaľovanie sa zapáli automaticky cez zapalovacie zariadenie,
- adiabatická meracia časť - regulátor vedie teplotu vodného plášťa na teplotu vnútorného kotla,
- voda v chladiacom obehú sa ochladzuje od externej chladiacej jednotky,
- po ukončení pokusu sa pretlak z kalorimetrickej bomby odstraňuje, vnútorný kotol sa vyprázdňuje a kryt meracej časti sa otvára,
- kalorimetrická bomba sa môže odstrániť a pripraviť na ďalšie meranie (*Užívateľská príručka, IKA C 5000*).

4.3.6 Sartorius Basic

Sartorius Basic je digitálna analytická váha pre laboratórne účely. Táto váha má pre dosiahnutie vyššej presnosti merania uzatvorený priestor pre váženie vzoriek. Váha bola použitá pre váženie téglikov, ochranných vrecúšok a samotných vzoriek pre proces merania.



Obr. 14

Analytická váha Sartorius Basic

4.4 Výsledky merania

Pri meraní výhrevnosti sme sa zamerali na nasledujúce kvapalné a pevné biopalivá:

- bioetanol,
- smrekové drevo.
- pelety,
- brikety,
- agátové drevo,
- čerešňové drevo.

4.4.1 Bioetanol

Výrobok BIO UNI je určený ako palivo do bezkomínových krbov. BIO UNI je vyrobený z osobitne denaturovaného liehu, s obsahom viac ako 96% etanolu. Má vynikajúce energetické a chemické vlastnosti pre spaľovanie v bezkomínovom krbe .

Doba horenia je závislá od typu, veľkosti a nastavenia horákov. Odhad spotreby 1 litra bioetanolu pri výkone krbu 3kW je približne 2 hodiny. Cena je približne 2,50 € za 1 liter.



Obr. 15

Bioetanol - BIO UNI 1 liter

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené váhy (m_v) jednotlivých vzoriek zistené pomocou digitálnej analytickej váhy Sartorius Basic a výsledná výhrevnosť (H_{be}) bioetanolu zistená pomocou IKA kalorimetrického systému C 5000 control.

Tab. 7

Výsledné hodnoty vzoriek bioetanolu

Bioetanol	
Vzorka 1	Vzorka 2
$m_{v1} = 0,4310 \text{ g}$	$m_{v2} = 0,2645 \text{ g}$
$H_{be1} = 26619 \text{ J/g}$	$H_{be2} = 26338 \text{ J/g}$

4.4.2 Smrekové drevo

Smrekové drevo je mäkké, ľahko opracovateľné, pružné, rovnomerne štiepatelné, pri horení jemne praská a suché je pomerne ľahké. Smrekov drevo je pomerne dobre dostupné a cena za 1 m^3 sa pohybuje približne medzi 30 až 50 eur.

Vzorka dreva bola dobre vysušená, uskladnená na suchom mieste a to po dobu približne 3 roky.



Obr. 16

Smrekové drevo - vzorka

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené váhy (m_v) jednotlivých vzoriek, ktoré boli narezané a odvážené pomocou digitálnej analytickej váhy Sartorius Basic, váhy jednotlivých ochranných vreciek (m_{ov}) a výsledná výhrevnosť (H_s) smrekového dreva zistená pomocou IKA kalorimetrického systému C 5000 control.

Tab. 8

Výsledné hodnoty vzoriek smrekového dreva

Smrekové drevo	
Vzorka 1	Vzorka 2
$m_{v1} = 0,0359 \text{ g}$	$m_{v2} = 0,0670 \text{ g}$
$H_{s1} = 15753 \text{ J/g}$	$H_{s2} = 15826 \text{ J/g}$
$m_{ov1} = 0,2682 \text{ g}$	$m_{ov2} = 0,2649 \text{ g}$

4.4.3 Pelety

Pelety sa vyznačujú vysokou výhrevnosťou, nízkym obsahom vody a popola a nízka produkcia emisií pri spaľovaní. Cena za 1 tonu sa pohybuje približne od 100 do 150 €.

Pre experimentálne meranie boli vybrané PELETY KLASIK . Charakteristika týchto peliet je uvedená v tabuľke č. 9.

Tab. 9

Charakteristika PELIET KLASIK

Priemer	6 mm
Dĺžka	max. 40 mm
Vlhkosť	max. 10 %
Sypná hmotnosť	min. 600kg/m ³
Obsah popola	max. 0,7 %
Hmotnosť balenia	15 kg
Výhrevnosť	16,5 - 19,0 MJ/kg
Zloženie	Smrekové, borovicové a bukové piliny bez kôry
Cena	3,375 €



Obr. 17
Pelety - vzorka

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené váhy (m_v) jednotlivých vzoriek, ochranných vreciek (m_{ov}) a výsledná výhrevnosť (H_p) peliet.

Tab. 10

Výsledné hodnoty vzoriek peliet

Pelety	
Vzorka 1	Vzorka 2
$m_{v1} = 0,0869 \text{ g}$	$m_{v2} = 0,0630 \text{ g}$
$H_{p1} = 18137 \text{ J/g}$	$H_{p2} = 18216 \text{ J/g}$
$m_{ov1} = 0,2679 \text{ g}$	$m_{ov2} = 0,2704 \text{ g}$

4.4.4 Brikety

Brikety sa vyznačujú schopnosťou nahrádzať palivové drevo čiže ich môžeme spaľovať bez akýchkoľvek úprav vo všetkých otvorených systémoch spaľovania. Ďalej zabraňujú dechtovaniu kotla a komínového systému, majú nízky obsah popola a vody.

Pre pokus boli vybraté drevné brikety valcového tvaru bez diery. Ich charakteristika je uvedená v tabuľke č. 11.

Tab. 11
Charakteristika brikiet

Rozmer 1 ks	29 x 9 cm
Počet kusov v balení	5
Balenie	10 kg
Výhrevnosť	17,5 - 19,5 MJ/kg
Vlhkosť	max. 10 %
Zloženie	zlisované hoblíny a piliny z mäkkých drevín - prevažne smrek
Cena	2,15 €



Obr. 18
Briketa - vzorka

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené váhy (m_v) jednotlivých vzoriek, ochranných vreciek (m_{ov}) a výsledná výhrevnosť (H_b) brikiet.

Tab. 12

Výsledné hodnoty vzoriek brikiet

Brikety	
Vzorka 1	Vzorka 2
$m_{v1} = 0,0464 \text{ g}$	$m_{v2} = 0,0738 \text{ g}$
$H_{b1} = 18813 \text{ J/g}$	$H_{b2} = 18994 \text{ J/g}$
$m_{ov1} = 0,2712 \text{ g}$	$m_{ov2} = 0,2621 \text{ g}$

4.4.5 Agátové drevo

Agát patrí medzi listnaté dreviny a vyznačuje sa vysokou tvrdosťou, výhrevnosťou, odolnosťou a dlhou životnosťou. Cena za 10 kg štiepaného agátového dreva sa pohybuje približne okolo 2,20 €.



Obr. 19

Agátové drevo - vzorka

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené váhy (m_v) jednotlivých vzoriek, ochranných vreciek (m_{ov}) a výsledná výhrevnosť (H_a) agátového dreva.

Tab. 13

Výsledné hodnoty vzoriek agátového dreva

Agátové drevo	
Vzorka 1	Vzorka 2
$m_{v1} = 0,0530 \text{ g}$	$m_{v2} = 0,0781 \text{ g}$
$H_{a1} = 17216 \text{ J/g}$	$H_{a2} = 17347 \text{ J/g}$
$m_{ov1} = 0,2680 \text{ g}$	$m_{ov2} = 0,2652 \text{ g}$

4.4.6 Čerešňové drevo

Čerešňa patrí medzi ovocné listnaté dreviny a preto sa vyznačuje vysokou tvrdosťou, výhrevnosťou, ale tiež horšou dostupnosťou, ktorá je spôsobená nízkym množstvom týchto stromov a tým, že sa prevažne drevo z čerešne používa na iné účely ako je napríklad výroba nábytku a dekorácií.

Vzorka dreva bola uskladnená na suchom mieste po dobu približne 2 roky.



Obr. 20

Čerešňové drevo - vzorka

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené váhy (m_v) jednotlivých vzoriek, ochranných vreciek (m_{ov}) a výsledná výhrevnosť (H_{ξ}) čerešňového dreva.

Tab. 14

Výsledné hodnoty vzoriek čerešňového dreva

Čerešňové drevo	
Vzorka 1	Vzorka 2
$m_{v1} = 0,0441 \text{ g}$	$m_{v2} = 0,0637 \text{ g}$
$H_{\xi 1} = 16576 \text{ J/g}$	$H_{\xi 2} = 16950 \text{ J/g}$
$m_{ov1} = 0,2592 \text{ g}$	$m_{ov2} = 0,2683 \text{ g}$

4.5 Zhodnotenie výsledkov

Zhodnotenie výsledkov pozostáva z porovnania nami nameraných hodnôt výhrevnosti jednotlivých biopalív s hodnotami uvádzanými v publikáciách iných autorov resp. v dostupných internetových zdrojoch.

Tab. 15

Porovnanie zistených a publikovaných výhrevností

Hodnoty výhrevnosti Bioetanolu		
Nami zistené hodnoty		Publikovaná hodnota
$H_{be1} = 26,61 \text{ MJ/kg}$	$H_{be2} = 26,33 \text{ MJ/kg}$	$H_{be} = 26,87 \text{ MJ/kg}$
Priemer = 26,47 MJ/kg		
Rozdiel = 0,40 MJ/kg		
Hodnoty výhrevnosti Smrekového dreva		
Nami zistené hodnoty		Publikovaná hodnota
$H_{s1} = 15,75 \text{ MJ/kg}$	$H_{s2} = 15,82 \text{ MJ/kg}$	$H_s = 15,30 \text{ MJ/kg}$
Priemer = 15,78 MJ/kg		
Rozdiel = 0,48 MJ/kg		

Hodnoty výhrevnosti peliet		
Nami zistené hodnoty		Publikovaná hodnota
Hp1 = 18,13 MJ/kg	Hp2 = 18,21 MJ/kg	Hp = 17,75 MJ/kg
Priemer = 18,17 MJ/kg		
Rozdiel = 0,42 MJ/kg		
Hodnoty výhrevnosti briekiet		
Nami zistené hodnoty		Publikovaná hodnota
Hb1 = 18,81 MJ/kg	Hb2 = 18,99 MJ/kg	Hb = 18,50 MJ/kg
Priemer = 18,90 MJ/kg		
Rozdiel = 0,40 MJ/kg		
Hodnoty výhrevnosti agátového dreva		
Nami zistené hodnoty		Publikovaná hodnota
Ha1 = 17,21 MJ/kg	Ha2 = 17,34 MJ/kg	Ha = 16,30 MJ/kg
Priemer = 17,27 MJ/kg		
Rozdiel = 0,97 MJ/kg		
Hodnoty výhrevnosti čerešňového dreva		
Nami zistené hodnoty		Publikovaná hodnota
Hč1 = 16,57 MJ/kg	Hč2 = 16,95 MJ/kg	Hč = 16,00 MJ/kg
Priemer = 16,76 MJ/kg		
Rozdiel = 0,76 MJ/kg		

V tabuľke č. 15 boli publikované hodnoty jednotlivých druhov biopalív zistené z nasledujúcich zdrojov:

- bioetanol - hodnota je uvedená z knižnej publikácie Biomasa - obnoviteľný zdroj energie od autorov Zdeněk Pastorek, Jaroslav Kára a Petr Jevič (2004),
- smrekové a agátové drevo - hodnoty výhrevnosti týchto druhov drevín sú uvedené v knižnej publikácii Energie z biomasy od autorov Karel Murtinger a Jiří Beranovský (2011),

- pelety - výrobca týchto peliet uvádza výhrevnosť od 16,5 do 19 MJ/kg a stredná hodnota, teda 17,75 MJ/kg bola použitá ako publikovaná hodnota pre naše porovnanie. Dostupné na:
(<http://www.bioenergia.sk/index.php/produkty/drevene-pelety/pelety-klasik>),
- brikety - výrobca týchto brikiet uvádza výhrevnosť od 17,5 do 19,5 MJ/kg a stredná hodnota, teda 18,5 MJ/kg bola použitá ako publikovaná hodnota pre naše porovnanie. Dostupné na:
(<http://www.bioenergia.sk/index.php/produkty/drevene-brikety/valcove-bez-diery>),
- čerešňové drevo - z internetového zdroja (<http://www.levnedrevonatopeni.cz/inpage/vyber-dreva/>) sme zistili, že výhrevnosť čerešňového dreva o málo prevyšuje výhrevnosť dubového dreva, ktorú Pastorek uvádza na 15,9 MJ/kg a na základe týchto informácií bola výhrevnosť čerešňového dreva určená na približne 16,00 MJ/kg.

Z výsledných hodnôt porovnania sme zistili najväčší rozdiel medzi nami nameranými a publikovanými hodnotami výhrevnosti v prípade vzorky agátového dreva, ktorý predstavuje 0,97 MJ/kg.

Druhý najväčší rozdiel vo výhrevnosti je u čerešňového dreva a to 0,76 MJ/kg. Tento rozdiel je možné vysvetliť tým, že vzhľadom na charakter čerešňového dreva je nedostatok presných informácií o hodnotách výhrevnosti tohto dreva.

Zvyšné biopalivá mali približne rovnaké hodnoty rozdielov. Smrekové drevo malo rozdiel 0,48 MJ/kg, u peliet 0,42 MJ/kg, u brikiet a bioetanolu rozdiel predstavoval 0,40 MJ/kg. Rozdiely môžu byť spôsobené určitými rozdielmi vo vlhkosti, alebo inými vlastnosťami biopalív.

5 Záver

Cieľom diplomovej práce bolo spracovanie stručného prehľadu o biomase, jej zložení, možnostiach využitia a popis vybratých druhov biopalív. Ďalšia časť práce sa zaoberala popisom a spôsobom merania fyzikálnych a termofyzikálnych vlastností biomasy relevantných z hľadiska jej energetického využitia.

Hlavným cieľom bolo získanie vzoriek dostupných biopalív, ktoré sme následne podrobili experimentálnemu meraniu výhrevnosti. Meranie výhrevnosti sa uskutočnilo na katedre fyziky Technickej fakulty SPU v Nitre pomocou meracieho zariadenia IKA Kalorimetrického systému C 5000 control. Na základe výsledkov merania môžeme konštatovať, že najvyššiu priemernú hodnotu výhrevnosti dosahuje bioetanol až 26,47 MJ/kg, ale vzhľadom na charakter tohto biopaliva je vhodnosť použitia veľmi obmedzená. Bioetanol je teda vhodný do biokrbov, ktoré slúžia skôr na dekoračné účely keďže ich výkony sú pomerne nízke. Medzi vzorkami drev malo najvyššiu priemernú výhrevnosť agátové drevo a to 17,27 MJ/kg, potom drevo čerešne 16,76 MJ/kg a najnižšiu priemernú výhrevnosť malo smrekové drevo 15,78 MJ/kg. Je teda zrejmé, že pre vykurovanie je najvhodnejšie agátové drevo. Ako ďalšie biopalivá, ktorých výhrevnosti sme merali boli pelety a brikety. Z nich mali väčšiu priemernú výhrevnosť brikety 18,90 MJ/kg a pelety mali 18,17 MJ/kg. Vzhľadom aj na cenu, ktorá je za kilogram pri briketách aj peletách takmer rovnaká, môžeme povedať, že vykurovanie briketami je výhodnejšie.

V časti porovnania nami nameraných hodnôt s publikovanými hodnotami, ktoré uvádzajú iní autori sme nezistili veľké rozdiely. Pri žiadnom biopalive nepresahoval rozdiel hodnotu 1 MJ/kg. Všetky výsledné hodnoty sú uvedené v tabuľkách.

Touto prácou sme sa pokúsili prispieť k obohateniu výskumu vlastností biopalív. Výsledky uvedené v tejto práci je možné využiť pri realizovaní ďalších výskumov respektíve pri zvažovaní vhodnosti spracovaných druhov biopalív pre energetické účely.

Zoznam použitej literatúry

APPLIED PRECISION, Ltd.: *ISOMET 104*, User's guide, 1999.

KREMPASKÝ, J. Meranie termofyzikálnych veličín . Bratislava: Veda, 1969, 335 s.

MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J. *Energie z biomasy*. Brno: ERA, 2006. 97 s. ISBN 80-7366-071-7.

MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J. *Energie z biomasy*. Brno: CPRESS, 2011. 106 s. ISBN 978-80-251-2916-6.

PASTOREK, Z., KÁRA, J., JEVIČ, P. *Biomasa obnoviteľný zdroj energie*. Praha: FCC Public s.r.o., 2004. 288 s. ISBN 80-86534-06-5.

UŽÍVATEĽSKÁ PRÍRUČKA, IKA Kalorimetrický systém C 5000 control.

PORVAZ, P. 2007. [online] [cit. 2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://www.scpv-ua.sk/index.php/2007-pr-19/7-2007-pr-19/50-vyhrevnost-biomasy>>.

VAJDA, D., TRPŠOVÁ, B. [s.a.] [online] [cit. 2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://tarjanyiova.fyzika.uniza.sk/tepkap.pdf>>.

VÍGLASKÝ, J., 2008. [online] [cit. 2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://www.asb.sk/tzb/energie/perspektivy-biomasy-a-tuhych-biopaliv-v-sektoreenergetiky-1957.html>>.

VÍGLASKÝ, J., 2009. [online] [cit. 2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://www.asb.sk/tzb/energie/biomasa-v-regione-a-jej-realne-zdroje-2907.html>>.

BIOMASA [s.a.] [online] [2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://www.inforse.dk/europe/fae/OEZ/biomasa/biomasa.html>>.

DEKORAČNÉ BIOKRBY [s.a.] [online] [2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://www.bioflame.sk/>>.

EKOENERGIA [s.a.] [online] [2011-03-20]. Dostupné na internete: <www.ekoenergiao.sk/>.

ETANOL [s.a.] [online] [2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://sk.wikipedia.org/wiki/Etanol>>.

FOTOSYNTÉZA [s.a.] [online] [2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://sk.wikipedia.org/wiki/Fotosynt%C3%A9za>>.

INTERIÉROVÝ NÁSTENNÝ BIOKRB [s.a.] [online] [2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://www.flamene.eu/sk/krby-informace/>>.

METANOL [s.a.] [online] [2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://sk.wikipedia.org/wiki/Metanol>>.

METANOL KARTA [s.a.] [online] [2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://www.airproducts.sk/corporate/vseobecne/pdf/slovenka/Metanol.pdf>>.

PALIVÁ A ENERGIE [s.a.] [online] [2011-03-20]. Dostupné na internete: <http://www.drevoplyn.sk/atmos_pae.php>.

PALIVÁ BUDÚCNOSTI [s.a.] [online] [2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://www.e-learning-centrope.sk/data/files/56.doc>>.

SPALNÉ TEPLLO [s.a.] [online] [cit. 2011-03-20]. Dostupné na internete: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Spaln%C3%A9_teplo>.

STANOVENIE HUSTOTY [s.a.] [online] [cit. 2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://www.kchsz.sjf.stuba.sk/start2.html>>.

UDRŽATEĽNÁ SPOTREBA [s.a.] [online] [cit. 2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://www.dolceta.eu/slovensko/Mod5/spip.php?article322>>.

VERNER A-501 [s.a.] [online] [cit. 2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://www.ondrusek.sk/kotly-na-pelety-a-obilie/verner/verner-a501>>.

VODA VE DŘEVĚ [s.a.] [online] [cit. 2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=node/39>>.

VOLNE STOJACI HORÁK [s.a.] [online] [cit. 2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://www.flamene.eu/sk/krby/pure-flame-19/>>.

VÝHREVNOSTĚ [s.a.] [online] [cit. 2011-03-20]. Dostupné na internete: <<http://www.polnohospodarskabiomasa.sk/index.php?c=5.2>>.