

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra ochrany obyvatelstva

**Vliv samozahřívání pevného paliva z biomasy
na kvalitu paliva a bezpečnost jeho skladování**

Student: Michaela Perd'ochová

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Hana Věžníková

Studijní obor: Havarijní plánování a krizové řízení

Datum zadání bakalářské práce: 30. 11. 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. 4. 2010

Čestné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracovala samostatně.

V Ostravě dne 27. 4. 2010

Michaela Perďochová

Poděkování

Děkuji paní Ing. Haně Věžníkové za odborné vedení, rady a připomínky při realizaci moji bakalářské práce.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PERŤOCHOVÁ, M. *Vliv samozahřívání pevného paliva z biomasy na kvalitu paliva a bezpečnost jeho skladování.*

Ostrava: Katedra ochrany obyvatelstva, Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 47 stran.

Bakalářská práce hodnotí, jak se změní hodnoty spalného tepla paliva z biomasy v důsledku samovolného zahřívání a jaký vliv má samovolné zahřívání na kvalitu a bezpečnost skladování paliva.

V teoretické části této práce je rozebrána problematika samovznícení a toxicita zplodin. Také jsou zde obsaženy podrobné informace o biomase, zejména o dřevěných briketách.

V praktické části je pak popsáno stanovení spalného tepla a teploty vznícení dřevěných briket původního vzorku a vzorků připravených dlouhodobým záhřevem.

Pro zjištění spalného tepla dřevěných briket byla použita norma ČSN ISO 1928 (44 1352). Teplota vznícení byla provedena podle normy ČSN 64 0149.

Klíčová slova: samovznícení, biomasa, spalné teplo, ČSN ISO 1928 (44 1352), teplota vznícení, ČSN 64 0149

ANNOTATION THESIS IN ENGLISH LANGUAGE

PERŤOCHOVÁ, M. *Solid fuel of biomass quality and safety storage influence with self heating.*

Ostrava: Department of Civil Protection, Faculty of Safety Engineering, VŠB - Technical University of Ostrava, 2010, 47 pages.

Bachelor thesis assesses the change calorific values of biomass fuels as a result of spontaneous heating and effect self-heating on the quality and safety of fuel storage.

In the theoretical part of this work is to analyze the problem of self ignition and toxicity of combustion products. Also included is detailed information on biomass, especially of wood briquettes.

The practical part describes the determination of calorific value and ignition temperature of wood briquettes original sample and samples prepared by heating long.

The standard ČSN ISO 1928 (44 1352) were used to determine the gross calorific value of wood briquettes. Ignition temperature was performed according to standard ČSN 64 0149.

Keywords: *self ignition, biomass, calorific value, ČSN ISO 1928 (44 1352), ignition temperature, ČSN 64 0149*

OBSAH

1	ÚVOD.....	8
2	REŠERŠE.....	9
3	ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE	11
4	SAMOVZNÍCENÍ.....	12
4.1	Typy samovznícení.....	13
4.2	Tepelné samovznícení	13
4.3	Samovznícení na základě biochemických procesů.....	14
4.4	Hoření a samovznícení dřeva	15
5	BIOMASA.....	18
5.1	Dělení biomasy	19
5.2	Emise ze spalování biomasy.....	20
5.3	Zpracování biomasy	20
6	BIOPALIVA.....	21
6.1	Tuhá biopaliva	21
7	DŘEVĚNÉ BRIKETY	22
7.1	Výroba dřevěných briket	23
7.2	Kvalita dřevěných briket	24
7.3	Skladování dřevěných briket	25
8	METODA STANOVENÍ SPALNÉHO TEPLA A VÝHŘEVNOSTI TUHÝCH PALIV.....	26
9	METODA PRO HODNOCENÍ VZNĚTLIVOSTI – ZAPALITELNOSTI MATERIÁLŮ.....	28
10	STANOVENÍ SPALNÉHO TEPLA DŘEVĚNÝCH BRIKET POMOCÍ KYSLÍKOVÉHO KALORIMETRU.....	30
10.1	Popis zkušebního zařízení	30
10.2	Příprava vzorků jejich dlouhodobým záhřevem.....	31
10.3	Pracovní postup stanovení spalného tepla.....	33
10.4	Výsledky získané metodou ČSN ISO 1928.....	34
10.5	Ovlivnění velikosti spalného tepla dřevěných briket	35
10.5.1	Doba sušení.....	35
10.5.2	Teplota sušení	36

11	STANOVENÍ TEPLoty VZNÍCENÍ DŘEVĚNÝCH BRIKET POMOCÍ SETCHKINOVA TESTU	38
11.1	Popis zkušebního zařízení	38
11.2	Příprava zkušebních vzorků.....	39
11.3	Pracovní postup	39
11.4	Výsledky získané metodou podle Setchkina a zhodnocení výsledků.....	40
12	ZÁVĚR.....	41
13	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	42
14	SEZNAM OBRÁZKŮ	45
15	SEZNAM TABULEK	46
16	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	47

1 ÚVOD

V současné době je velká část světa závislá na používání fosilních paliv, mezi která řadíme především ropu, zemní plyn a uhlí. Jedná se sice o poměrně levný, ale neobnovitelný zdroj. Další závažný problém používání těchto paliv představuje ekologická zátěž životního prostředí, neboť při spalování fosilních paliv jsou produkovány nebezpečné zplodiny, jako je oxid uhličitý, methan a oxidy dusíku.

Z těchto důvodů je potřeba omezit používání fosilních paliv a přejít na jejich vhodné alternativy. Jedna z možností využití obnovitelných zdrojů je využívání biopaliv, tedy paliv vyrobených či připravených z biomasy.

V našich klimatických podmínkách jsou nejčastěji využívána tuhá biopaliva, zejména dřevěné brikety, neboť jsou řešením pro likvidaci dřevěného odpadu – pilin a hoblin.

I přes své výborné vlastnosti, jako je např. vysoká výhřevnost, snadná manipulovatelnost, ekologická šetrnost pro životní prostředí, obnovitelnost, mají dřevěné brikety i některé závažné nedostatky. Nejzávažnější z nich je jejich snadná zápalnost a hořlavost, což může být příčinou vzniku požárů.

Pokud jsou brikety vystaveny dlouhodobému zahřívání, může dojít k tepelnému samovznícení, kdy brikety podléhají tepelnému rozkladu a tím dochází k jejich znehodnocení. Proto je důležité znát jejich teplotu vznícení a chránit je při skladování před zdrojem tepla s teplotou vyšší než je jejich teplota vznícení. Nejrozšířenější metodou pro stanovení teploty vznícení je Setchkinův test – ČSN 64 0149, který se provádí v elektricky vyhřívané peci.

Na druhou stranu zahříváním dochází ke ztrátě jejich vlhkosti, což vede ke zvyšování kvality paliva, neboť se zvyšuje jejich hodnota spalného tepla.

Pro hodnocení spalného tepla paliv slouží několik metod. Jednou z metod je stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti podle ČSN ISO 1928 (44 1352). Specifickou normou, která popisuje metodu stanovení spalného tepla a výhřevnosti tuhého biopaliva v kalorimetrické nádobě, je norma ČSN P CEN/TS 14918.

Touto prací bych chtěla zhodnotit jaký vliv má dlouhodobé zahřívání biopaliva na jeho kvalitu a bezpečnost jeho skladování.

2 REŠERŠE

V této části je uvedena rešerše stěžejních literárních zdrojů, ze které vychází tato bakalářská práce. Při zpracování této práce jsem se zaměřila na odbornou literaturu, která se zabývá procesy samovznícení a oblastí biopaliv.

BALOG, Karel. *Samovznietenie – Samozahrievanie, vznietenie, vzplanutie*. Ostrava: SPBI, 1999. 133 s. ISBN: 80-86111-43-1.

Tato publikace se zaměřuje na problematiku hořlavosti materiálu z hlediska iniciační fáze procesu hoření. Pozornost je věnována zápalnosti tuhých a kapalných materiálů, přičemž podstatnou část tvoří proces samozahřívání, samovznícení a vznícení materiálů [3].

BABRAUSKAS, Vytenis. *Ignition Handbook: Principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management and forensic science*. Issaquah, WA98027, USA: Fire Science Publishers, 2003. 1116 s. Library of Congress Control Publishers Number 2003090333. ISBN 0-9728111-3-3.

Tato obsáhlá zahraniční publikace se zabývá principy vzněcování a hoření materiálů pro bezpečnostní inženýrství nebo vyšetřování požárů. Zabývá se zásadami vzněcování, vznícením kapalin, běžných pevných látek, prachů, plynu a par, samozahříváním, explosivních, pyrotechnických a reaktivních materiálů. Rovněž slouží k hodnocení rizik, uvádí preventivní opatření a řeší výzkumné práce s popisem používaných metod [2].

FILIPI, Bohdan. *Nauka o materiálu*. 1. vyd. Ostrava: SPBI, 2003. 124 s. ISBN 80-86634-11-6.

Skripta jsou zaměřena na oblast požárního technického zkušebnictví, na charakteristiky popisující zapalitelnost, hořlavost a vývoj dýmu. Pozornost je věnována i obecným aspektům hoření a tvorby dýmu [6].

BARTLOVÁ, Ivana. *Nebezpečné látky I*. 2. vyd. Ostrava: SPBI, 2005. 211 s. ISBN 80-86634-59-0.

Kniha řeší problematiku nakládání s nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky. Věnuje se také vlastnostem a parametrům nebezpečných látek a možnosti získávání potřebných informací o těchto látkách [4].

ČSN P CEN/TS 14918 (83 8214). *Tuhá biopaliva – Metoda stanovení spalného tepla a výhřevnosti*. Český normalizační institut, Praha. 2006. s. 62.

Tato norma popisuje laboratorní postup stanovení spalného tepla a výhřevnosti tuhého biopaliva, jeho termíny a definice. Jsou zde také uvedeny příklady některých výpočtů [15].

3 ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE

V této části jsou uvedeny některé základní pojmy a definice z oblasti hoření, kterým je potřeba porozumět před studiem této problematiky.

Hoření - složitý fyzikálně chemický fenomén, jehož základem jsou oxidačně redukční procesy provázené vývojem tepla a světla [6].

Vznícení - proces, při kterém dojde v důsledku samovolného zrychlení oxidačních reakcí k hoření hořlaviny [3].

Teplota samozahřívání - minimální teplota, při které dochází k rychlé akumulaci tepla v objemu látky. Při splnění podmínek procesu samovznícení může po určité indukční periodě dojít k následné exotermické reakci ve formě plamenného, resp. bezplamenného hoření [3].

Teplota samovznícení - nejnižší teplota, při které se v látce začínají bez vnějšího přívodu tepla exotermické procesy vedoucí k zapálení látky – samovznícení, které se může projevit bezplamenným nebo plamenným způsobem [3].

Teplota tlení - nejnižší teplota tuhé látky, při které dochází k propagaci bezplamenného hoření [3].

Spalné teplo - množství tepla, uvolněné úplným spálením paliva v kalorimetrické tlakové nádobě v prostředí stlačeného kyslíku při teplotě 25 °C, vztažené na jednotku jeho hmotnosti. Zbylými produkty jsou nejčastěji plynný kyslík, oxid uhličitý a kapalná voda, případně také popel, kyselina siřičitá nebo dusičná [27].

Výhřevnost - spalné teplo, zmenšené o výparné teplo vody, vzniklé z paliva během hoření [27].

Vznětlivost - schopnost materiálů zapálit se při zahřívání za zvýšených teplot [27].

4 SAMOVZNÍCENÍ

Samovznícení je komplexní samovolný probíhající proces od prvního okamžiku nárůstu teploty (teplota samozahřívání) až k dosažení teploty samovznícení v důsledku chemických, fyzikálních nebo biologických procesů. Výsledkem procesu samovznícení je vznícení a následné hoření látky plamenným nebo bezplamenným způsobem.

S výše uvedeným pojmem bývá často zaměňován pojem **samozapálení**. Jedná se o stejný proces, avšak rozdíl je v tom, že pojem samovznícení se používá pro látky, které mají teplotu samovznícení vyšší než je běžná teplota a samozapálení pro látky, které mají nižší teplotu než je běžná teplota [3].

Proces samovznícení spočívá v tom, že systém hořlavá látka – vzduch není v chemické rovnováze, proto i pod teplotou vznícení, např. při teplotě okolí, probíhá reakce složek tohoto systému s cílem dosáhnout rovnováhy. Většinou však množství uvolněného tepla za časovou jednotku je tak malé, že se toto teplo stačí rozptýlit do okolí. Avšak někdy může dojít k tomu, že v důsledku vnějších vlivů není teplo odvedeno do okolí, ale zůstává v reakčním systému a tím dochází ke zvýšení teploty tohoto systému. Tento děj pak probíhá progresivně až do dosažení teploty vznícení.

Za samovznětlivé látky je nutno považovat ty, u nichž v praktických podmínkách při výrobě, skladování či manipulaci s nimi dochází k samozahřívání, které může vést dále k samovznícení.

Do této skupiny řadíme látky nebo systémy více látek, u nichž vývin tepla nespočívá v reakci se vzdušným kyslíkem, ale v jiné exotermické reakci (polymerace, oxidace peroxidy apod.) [5].

Ke vzniku samovznícení napomáhá především skladování ve velkých hromadách, vlhkost, nestejněměrná zrnitost a přítomnost zbytků jiných hořlavých materiálů.

Mezi důležité faktory, které ovlivňují proces samovznícení, patří např:

- fyzikální a chemické vlastnosti látek,
- velikost a tvar nahromaděného materiálu, pórovitost látky,
- velikost částic,
- teplota okolí,
- doba uskladnění,
- přístup vzduchu,
- koncentrace kyslíku,

- izolační schopnost,
- vlhkost a déšť,
- znečišťující látky,
- vznícení vrstvy prachu [2].

4.1 Typy samovznícení

Na základě toho, který jev má rozhodující význam v počátečním stadiu samozahřívání, resp. samovznícení, rozlišujeme tři typy samovznícení:

- **samovznícení fyzikálně chemické** – způsobené jevy fyzikálního a chemického původu (např. absorpce plynů a par, zvýšená teplota prostředí),
- **samovznícení chemické** – příčinou tohoto samovznícení jsou reakce probíhající při styku chemické látky se vzduchem, vodou nebo po vzájemném působení (např. exotermické reakce při vzájemném styku chemických látek), nejrozsáhlejší skupinou látek schopných se samovznítit na základě chemických reakcí jsou vysychavé oleje a tuky,
- **samovznícení biologické** (např. činnost mikroorganismů) [3].

4.2 Tepelné samovznícení

Tepelné samovznícení – proces, při kterém dojde k vznícení hořlaviny dlouhodobým působením poměrně vysoké teploty (např. 80 – 100 °C). Jedná se tedy o proces termooxidace, která se projevuje hořením po předcházejícím samozahřívání látek zahříváných na teplotu, při které uvolněné reakční teplo převyšuje množství a rychlost tepla odváděného do okolí.

K tepelnému samovznícení mají sklon zejména celulózové materiály, jako je dřevo, dřevěné piliny, tabák, rašelina, atd. Kromě těchto materiálů jsou náchylné k tomuto samovznícení i méně kvalitní druhy uhlí (hnědé, lignit a brikety).

K tepelnému samovznícení dochází při zahřívání hořlavé látky na teplotu, při které dochází k termickému rozkladu. Hoření uvnitř látky probíhá ve formě žhnutí, které při zvyšování množství oxidačního prostředí může přejít na plamenné hoření a v některých případech může dojít i k výbuchu.

Tepelné samovznícení se v praxi často vyskytuje při sušících procesech (např. v teplovzdušné sušárně u dřeva, které podléhá tepelnému rozkladu při zvýšených teplotách).

U rostlinných materiálů, jako je dřevo, se při tepelném rozkladu uvolňují plynné produkty bez toho, aby se vznítily. Většinou dochází k nedokonalému hoření ve formě tlení a vzniklý uhlíkový zbytek shoří. V případě, že se do ohniska tepelného samozahřívání dostane vzduch, může dojít k plamennému hoření.

Existují tři ukazatele vyjadřující sklon materiálu k tepelnému samovznícení:

- minimální teplota prostředí, při které je možné samovznícení daného objemu materiálu,
- čas od okamžiku vyrovnání teplot okolí a celého objemu materiálu do okamžiku začátku procesu samovznícení v některém bodě objemu zkoušené látky,
- měrný povrch látky, který vyjadřuje poměr mezi objemem a plochou povrchu, tj. velikost plochy pro výměnu tepla [3].

4.3 Samovznícení na základě biochemických procesů

Samovznícení na základě biochemických procesů patří mezi nejčastější příčiny samovznícení. Zejména vlhké rostlinné materiály mají velký sklon k tomuto typu samozahřívání a následnému samovznícení.

Ze zemědělských produktů jsou požárně nejnebezpečnější rostlinné materiály s celulózovým charakterem, jako je např. seno, sláma, obilí, chmel, bavlna, dřevěné piliny, krmiva, tabák apod., neboť lehce podléhají oxidaci, mají schopnost tlení a za určitých podmínek jsou samovznětlivé.

Samovznícení probíhající v rostlinných produktech, kdy teplo potřebné ke zvýšení oxidační reakce je dodávané biologickými procesy, nazýváme **biologickým samovznícením**.

V rostlinných produktech může dojít ke všem třem druhům samovznícení.

Při technologických procesech zpracování těchto produktů (sušení, mletí, granulace atd.) může dojít k **tepelnému samovznícení**.

K **chemickému samovznícení** může dojít např. při napuštění těchto produktů nátěrovými hmotami, které mají sklon k samovznícení.

Nejčastější příčinou požárů v zemědělství je **biologické samovznícení** rostlinných materiálů, ke kterým dochází zejména při skladování objemových krmiv a jiných rostlinných produktů [3].

Podstatou biologického samovznícení je postupný nárůst teploty v důsledku činnosti mikroorganismů (bakterií), které vede k zahřívání. Při teplotě asi 70 °C začnou bakterie

odumírat. Teplota je však již dostačující pro rozpad některých jednodušších rostlinných látek, z nichž vzniká uhlík. Ten dále funguje jako v případě uhlí - oxiduje, a tím zvyšuje teplotu látky, vzniká další uhlík a při teplotě 250 až 300 °C dojde ke vznícení rostlinné hmoty [32].

Proto je velmi důležité, aby skladované rostlinné materiály byly dobře usušené (14-15% vlhkosti), protože nedosušené nebo vlhké produkty jsou příznivým prostředím pro vývoj a činnost těchto mikroorganismů [3].

4.4 Hoření a samovznícení dřeva

Nejdostupnější rostlinný materiál, který lidé široce využívají po celou dobu své historie, je dřevo.

Dřevo je v podstatě pevné pletivo stonků vyšších rostlin a je zahrnováno mezi obnovitelné zdroje energie. Používá se jako palivo, stavební materiál, materiál pro výrobu nástrojů, nábytků a dalších výrobků, i jako surovina pro výrobu např. papíru.

Dřevo řadíme k rostlinným polymerům a jeho hlavní součásti z hlediska chemických sloučenin jsou celulóza, hemicelulóza a lignin. V menší míře jsou zastoupeny jako doprovodné složky další organické sloučeniny jako sacharidy, pektin, terpeny, tuky, vosky, třísloviny, steroly, pryskyřice a také anorganické minerální látky.

Pokud na dřevo působí teplo, dochází k jeho rozkladu, při kterém se mění jeho vlastnosti, mění se jeho složení a struktura a uvolňují se plynné i kapalně produkty termické degradace.

Hořlavost dřeva je úzce spojena s tepelnými vlastnostmi dřeva – přenosem tepla ve dřevě. Ačkoliv je dřevo hořlavým materiálem, v mnoha ohledech předčí nehořlavé kovy, je-li vystaveno ohni. Hořlavost dřeva je ovlivňována jeho chemickým složením, průměrným zastoupením základních chemických konstituent dřeva. Kromě rozdílné výhřevnosti se chemické složky také liší svojí odolností vůči termickému rozkladu – pyrolýze. Nejméně odolné vůči termickému rozkladu jsou hemicelulózy, které se rozkládají v teplotním intervalu 170 – 240 °C. Celulóza je vůči působení tepla odolnější než hemicelulózy. Do teploty 250 °C je její rozklad jen mírný, intenzivní termický rozklad nastává v teplotním intervalu 250 – 350 °C. Nejdolnější složkou dřeva je lignin. Aktivní rozklad ligninu probíhá při teplotách 300 – 400 °C. Dřevo, podobně jako jiné tuhé materiály, nehoří přímou reakcí s kyslíkem [24].

Shrnutí hlavních pochodů probíhající při tepelném rozkladu a hoření dřeva je uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1: Tepelný rozklad dřeva [10]

Teplotní rozmezí	Charakteristický proces
pod 100 °C	vysoušení dřeva – ztráta volné vlhkosti
100 – 150°C	celková ztráta volné vlhkosti
150 – 200°C	ztráta vázané vlhkosti
200 – 280 °C	pomalá pyrolýza: intenzivní vývoj páry, uvolnění prchavých produktů s nízkou výhřevností (do 5000 kJ/m ³)
280 – 400 °C	nárůst teploty, tvorba lehce zápalných plynů s vysokou výhřevností (8400-16800kJ/m ³)
400 – 500 °C	maximální tvorba hořlavých plynů s výhřevností až 20000 kJ/ m ³
nad 500 °C	snižování množství plynných zplodin

Spalování dřeva je nejvýznamnějším zdrojem aldehydů v ovzduší. Ve spalovacím prostoru také dochází k nedokonalé oxidaci, což má za následek výskyt širší skupiny škodlivin (uhlovodíků). Další škodliviny (polycyklické aromatické uhlovodíky PAU) neobsahuje dřevo, ale jsou zastoupeny v kouřových plynech [9].

Spalováním dřeva nevznikají téměř žádné emise SO₂ a množství CO₂ je pouze takové, kolik ho bylo spotřebováno při růstu dřevní hmoty, tzn. že bilance CO₂ je neutrální [20].

Podrobnější výčet emisních plynů uvolněných při normálním a doutnajícím hoření uvádí tabulka 2.

Tabulka 2: Emisní plyny uvolněné při hoření [11]

Uvolněné plyny (g.kg ⁻¹)	CO	NO _x	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₃ H ₆	C ₄ H ₆	C ₆ H ₆
Normální hoření	42	1,4	0,58	0,18	0,27	0,21	0,11	0,33
Doutnání nebo bezplamenné hoření	148	1,3	6,3	2,6	4,0	1,2	0,8	3,9

Také při skladování dřeva se mohou v důsledku samozahřívání uvolňovat toxické zplodiny. Podrobněji viz publikace Bartlová [4].

Vlastnosti, které charakterizují chování dřeva při hoření, je možno rozdělit do několika skupin. O rychlosti šíření tepla ve hmotě rozhodují fyzikální vlastnosti, další vlastnosti rozhodují o zapalitelnosti nebo hořlavosti na základě rychlosti šíření plamene nebo na základě vývoje tepla. Z hlediska požární bezpečnosti jsou hodnoceny i další vlastnosti, jako toxicita a hustota kouře.

Na výhřevnost dřeva má zásadní vliv jeho vlhkost, neboť voda má velké výparné teplo, s rostoucím obsahem vody se snižuje energetický zisk.

Mezi nejdůležitější parametry, které určují rychlost zahřívání hořlavé látky, patří měrná tepelná kapacita a tepelná vodivost. Dalším parametrem, který má velký význam při hodnocení rizika požáru, je hodnota spalného tepla. Tento parametr je fyzikálně-chemickou konstantou materiálu a lze jej stanovit experimentálně i vypočítat ze složení paliva.

Jelikož je dřevo nehomogenní látka, jsou požárně technické charakteristiky u jednotlivých stavů dřeva odlišné. Je tedy nutné si uvědomit, že chování kusového nebo konstrukčního dřeva se liší od chování dřevěného prachu nebo pilin [8].

Teplota vznícení dřeva je 280°C – 399°C. Dřevo má schopnost tepelného samovznícení, ke kterému dochází dlouhodobým působením tepla, které nepřevyšuje teplotu vznícení daného materiálu. Náchylné k tepelnému samovznícení je dřevo bukové, dubové, smrkové, borové a dřevotřískové desky [30].

Při manipulaci se dřevem může dojít k tvorbě hořlavého a výbušného prachu, který může být zdrojem samovznícení. K samovznícení dřeva většinou dochází v uzavřených prostorech, při zasypání dřevními odpady, které jsou vystavené dlouhodobému zahřívání. Nejnáchylnější k samovznícení jsou dřevěné brikety, neboť při jejich manipulaci může dojít ke vzniku briketových třísek a zlomků, které jsou považovány za prach, který se může samovznítit [8].

Aby se předešlo samovznícení dřevního materiálu, je potřeba dbát zvýšenou pozornost na jeho skladování.

5 BIOMASA

Jednou z možností náhrady fosilních paliv je biomasa.

Biomasa (fytomasa) je souhrnný název pro organickou hmotu v původní přírodní formě, která vzniká na základě fotosyntézy jímáním a transformací sluneční energie v rostlinách jako jsou stromy, byliny, trávy, vodní řasy a chaluhy [1].

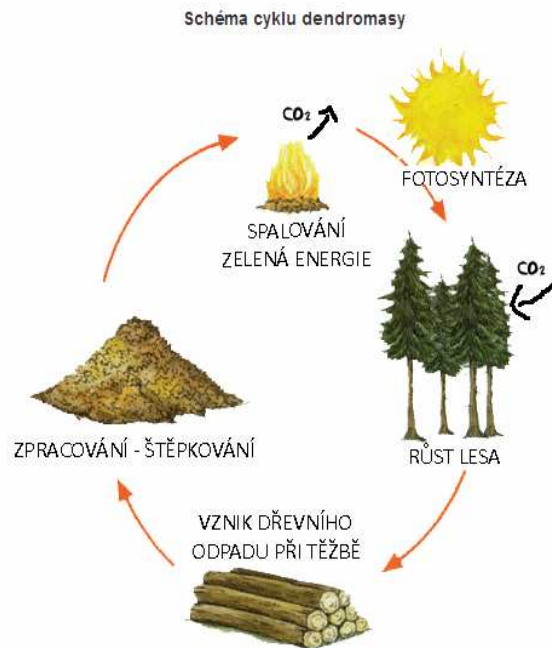
Energetické využití biomasy zahrnuje celý soubor možných technologických způsobů a cest získávání energie z látek organického původu. Jedná se o procesy výroby bioplynu, pohonných hmot (bionafty a bioetanolu), odpadního tepla (např. z kompostování), avšak nejjednodušším a nejrozšířenějším způsobem získávání energie z biomasy je její spalování. Výsledným produktem je tepelná energie. Ta je následně využita pro vytápění, technologické procesy nebo pro výrobu elektrické energie [17].

I přes své výhody, jako je např. obnovitelnost, nízká cena, široká dostupnost, má biomasa i některé své nevýhody. Patrně největší nevýhodou je nižší výhřevnost v porovnání s konvenčními palivy a při spalování může také docházet k tvorbě škodlivých látek. Přehled výhod a nevýhod použití biomasy je uveden v následující tabulce 3.

Tabulka 3: Výhody a nevýhody použití biomasy [17]

Výhody	Nevýhody
všeobecná dostupnost (tuzemský zdroj)	nižší výhřevnost než u konvenčních paliv
poměrně nízká cena biomasy	potřeba skladovacích prostor
využití odpadu (zbytek po spalování lze využít jako hnojivo)	větší rozměry kotle a příslušenství
uzavřený cyklus CO ₂	velký vliv vlhkosti na spalovací procesy
využití půdy nevhodné pro pěstování potravinářských plodin	složitější manipulace v porovnání s elektřinou a plynem
možnost dotační podpory	nutnost likvidace popela

Na následujícím obrázku 1 je znázorněno schéma cyklu dendromasy. Zjednodušeně lze říci, že při využití biomasy se energie uvolňuje ve formě tepla spalováním, kdy dochází ke vzniku oxidu uhličitého a ten může být opět zachycen rostlinami a celý cyklus se opakuje.



Obrázek 1: Schéma cyklu dendromasy [28]

5.1 Dělení biomasy

Biomasu lze zatřídit do několika kategorií:

- **fytomasa** – hmota rostlin obecně,
- **dendromasa** – dřevní biomasa,
- **cíleně pěstovaná biomasa** – zejména byliny a rychle rostoucí dřeviny,
- **biopaliva**,
- **odpadní biomasa**
 - z rostlinné výroby – sláma, zbytky z čištění zrnin apod.,
 - z živočišné výroby – hnůj, močůvka apod.,
 - z těžby a zpracování dřeva – piliny, hobliny, odřezky apod.,
- **biologicky rozložitelný odpad**
 - komunální – zbytky potravin, papírové obaly,
 - průmyslový – odpady z výroby papíru, cukru, mouky, z jatek apod.,
 - splašky z kanalizace [19].

5.2 Emise ze spalování biomasy

Při spalování biomasy vzniká především CO_2 a H_2O . V závislosti na podmínkách spalovacího procesu a na sloučeninách obsažených v biomase dochází k tvorbě dalších látek, které jsou považovány za látky znečišťující. Jedná se zejména o oxid uhelnatý, který je produktem nedokonalého spalování. V případě dokonalého spalování se tvoří oxid uhličitý a jeho emise jsou minimální. Dále se jedná o oxidy dusíku NO_x , které vznikají z dusíku obsaženého v palivu. Biomasa obsahuje síru v minimálním množství a proto jsou emise SO_2 z jejího spalování velmi nízké. Nízký obsah síry je velkou předností, neboť z emisí SO_2 se vytváření tzv. kyselé deště, které způsobují odumírání lesů [7].

5.3 Zpracování biomasy

Biomasa může být před konečným využitím zpracovávána různými technologickými procesy:

- mechanické procesy,
 - řezání – těžba a zpracování dřeva na řezivo a palivo,
 - drcení – předstupeň při výrobě pelet a briket,
 - štěpkování,
 - lisování pelet nebo briket,
 - lisování oleje,
- termické procesy,
 - spalování,
 - zplyňování,
- chemické procesy,
 - esterifikace – reakce alkoholu s kyselinou nebo s jejím derivátem za vzniku esteru a vody,
- mikrobiologické procesy,
 - alkoholové kvašení – výroba např. metanolu, etanolu pro další použití,
 - anaerobní digesce – výroba bioplynu s následnou možností úpravy na biometan,
 - kompostování – využívá se přímo teplo produkované mikroorganismy [19].

6 BIOPALIVA

Jeden ze způsobů využití biomasy představují biopaliva. Jako biopalivo je zatím využíváno především dřevo z lesních porostů i odpad z dřevozpracujícího průmyslu ve formě pilin, případně štěpky. Tato dřevní biomasa se v České republice vyskytuje v mnoha formách a v hojném množství, neboť Česká republika patří mezi nadprůměrně lesnaté země.

Biopaliva je možné rozdělit na:

- **tuhá** – řadíme k nim např. dřevo v různých formách (polena, štěpka, brikety, pelety, piliny), sláma (ve formě briket či pelet), seno (také ve formě briket či pelet),
- **kapalná** – např. alkoholová biopaliva, biooleje, zkapalněné plynné biopaliva,
- **plynná** – bioplyn, dřevoplyn, vodík [18].

6.1 Tuhá biopaliva

Tuhá biopaliva - biopaliva, která se v podmínkách, při nichž jsou skladována, dopravována a připravována pro energetické využití, nachází v tuhém stavu. Řadíme mezi ně především:

- kusové dřevo – obvykle polena o délce 300 až 500 mm,
- dřevěné štěpky – zejména z odpadů při těžbě dřeva nebo z cíleně pěstovaných rychle rostoucích dřevin,
- pelety z dřevního odpadu – vyrábí se z pilin lisováním,
- pelety z alternativních surovin – vyrábí se zejména z cíleně pěstovaných energetických plodin,
- brikety z dřevního odpadu – vyrábí se z hoblin a pilin za nižších tlaků než pelety,
- brikety z energetických bylin,
- semena plodin – používají se obvykle semena obilovin nepoužitelná pro potravinářské nebo krmivářské účely,
- balíková sláma – jedná se obvykle o vedlejší produkt při pěstování potravinářských a průmyslových plodin, který je jinak považován za odpad [19].

7 DŘEVĚNÉ BRIKETY

Mezi nejpoužívanější zdroje biomasy ke spalování patří dřevěné brikety, které jsou řešením pro likvidaci dřevního odpadu. Dřevěné brikety je možné spalovat prakticky ve všech typech topidel, jako jsou např. domácí krby, zahradní topeniště, kotle na dřevo a uhlí apod.

Dřevěné brikety (viz obrázek 2) jsou mechanicky velkým tlakem zpracovaná suchá dřevní drť, piliny a jemné hobliny do tvaru válečků, hranolů nebo šestistěnů, o průměru 40 až 100 mm, délky do 300 mm, s hustotou 600 až 1200 kg.m⁻³ a výhřevností 16,5 až 18,5 MJ.kg⁻¹ [1].



Obrázek 2: Dřevní brikety [23]

Výhody použití dřevěných briket:

- ekologicky nezávadné a šetrné k životnímu prostředí, čistá dřevní surovina bez dalších pojiv a přísad,
- původně odpadní surovina přeměněná v ekologický produkt,
- minimum popela, který je možno dále použít ke kompostování,
- vysoká výhřevnost díky velmi nízké vlhkosti použité suroviny,
- možnost použití bez nutnosti pořízení speciálních kotlů,
- nízké náklady na topení – výrobní cena briket se pohybuje zhruba od 1000 do 2500 Kč/t,
- snadná manipulovatelnost, malé nároky na skladování,
- možnost dlouhodobého skladování v suchém prostředí [22].

7.1 Výroba dřevěných briket

Výchozí surovinou pro výrobu dřevěných briket jsou především čisté kvalitní dřevěné piliny. Aby bylo dosaženo optimálních vlastností výsledných briket, jako je popelnatost, výhřevnost, kompaktnost atd., je potřeba použít piliny z tvrdého dřeva (dub, buk, jasan). Kvalitní brikety by neměly obsahovat žádné znečišťující příměsi.

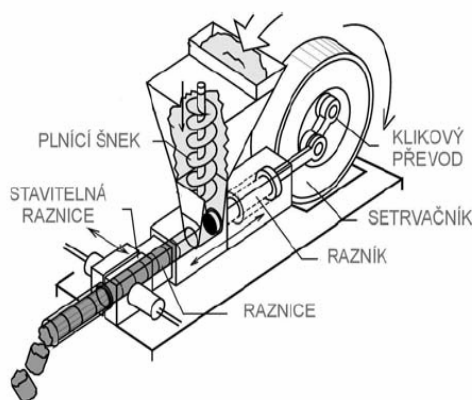
Hlavní princip výroby briket spočívá v tom, že se přetvoří dřevní hmota o velkém objemu, velké vlhkosti a malé výhřevnosti do nové ušlechtilé formy paliva, které se dá dobře ukládat a má vysokou výhřevnost.

Piliny jsou nejdříve zbaveny větších částí, vysušeny a potom se za velmi vysokého tlaku mechanicky slisují v pevnou kompaktní briketu. Samotné lisování se provádí na briketovacím lisu [22].

Briketovací lisy mohou být:

- **mechanické pístové** – pracují na principu klikového mechanismu s mohutnými setrvačnicí, lisovací komoru opouští nekonečně dlouhá briketa krácená za výstupem odřezávací pilou,
- **hydraulické pístové** – pracují s menšími tlaky než mechanické, jejich výkonnost je nižší, brikety mají menší soudržnost než od mechanických lisů, proto jsou určeny pro užití v blízkosti výroby bez časté manipulace,
- **šnekové** – potřebný lisovací tlak vytváří otáčením lisovacího šneku v konické komoře, soudržnost briket je velmi dobrá, povrch briket je po vychlazení pokryt utuhlým voskem a tím se briketa stává odolnější proti vzdušné vlhkosti [1].

Na následujícím obrázku 3 je zobrazen klikový lis pro výrobu briket.



Obrázek 3: Klikový lis pro výrobu briket [1]

7.2 Kvalita dřevěných briket

Kvalitní brikety dosahují výhřevnosti až 18 MJ/kg, čímž přesahují hodnoty běžného hnědého uhlí (14 - 16 MJ/Kg). Poměr obsahu sušiny a vody (vlhkost) briket výrazně ovlivňuje jejich výhřevnost. Vlhkost dřevěných briket má zásadní vliv na jejich výhřevnost, protože voda má velké výparné teplo, s rostoucím obsahem vody se snižuje energetický zisk. Tím, že se voda při hoření odpařuje, snižuje základní výhřevnost sušiny biomasy. Popel ze spálených biopaliv obsahuje hodnotné prvky, jako je dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík, hydroxid draselný, kysličník křemičitý, kyselinu fosforečnou a důležité stopové prvky a lze ho využít jako velmi dobré minerální hnojivo.

Vedle výhřevnosti a popelnatosti je důležitá i hodnota slisování biopaliv, vyjádřená měrnou hmotností. Ta nesmí být nikdy menší než 1 000 kg/m³, což znamená, že slisovaná biopaliva nesmí být lehčí než voda. Vysoká měrná hmotnost biopaliv zaručuje, že nepřijímají vzdušnou vlhkost, což prodlužuje jejich dobu skladování a délku hoření [31].

Srovnání kvality briket s různými biopalivy udává tabulka 4.

Tabulka 4: Srovnání kvality různých biopaliv [31]

	Hnědé uhlí	Černé uhlí	Sláma	Dřevo	Koks	Pelety	Brikety	Nafta	Štěpka
Výhřevnost MJ/kg min	14	27	16	18	30	18	18	42,5	15
Obsah vody % min	10	10	12	10	5	7,5	9,5	-	20
Popeloviny % min	3	3,7	3	0,2	3	0,35	0,35	-	1

Dalším sledovaným parametrem u těchto tuhých biopaliv je obsah prchavých látek. Podíl prchavých hořlavých látek, uvolňovaných nad 200°C v topeništi z hořlaviny biopaliv činí 75 % - 85 % hmotnosti suchého paliva. Má výrazný vliv na vytváření dlouhého plamene ze spalovaných biopaliv, kvalitu hoření a tvorbu emisí. Důležitou vlastností briket je i jejich soudržnost a odolnost proti nárazu, která udává odolnost při dopravě [31].

Požadavky na kvalitu dřevěných briket nejsou stanoveny v žádném právním předpisu.

7.3 Skladování dřevěných briket

Pro kvalitu dřevěných briket má význam i jejich skladování. Skladování tohoto biopaliva je poměrně nenáročné, neboť díky stohovatelnosti balíků jsou výrazně sníženy prostorové nároky na jejich uskladnění. Ve srovnání s uhlím se palivové dřevo mnohem snáze a čistěji skladuje. Také manipulace se dřevem je snazší a čistější.

Brikety je vhodné skladovat v suchých a uzavřených prostorech. Při suchém skladování mají prakticky neomezenou dobu skladovatelnosti. Jelikož se brikety balí do PE folií, jsou málo citlivé na vzdušnou vlhkost. Při skladování ve vlhkém prostředí nebo při přímém kontaktu s vodou dochází k nabobtnání briket a jejich postupnému rozpadu na piliny [29].

Pokud jsou piliny navlhle a nacházejí se ve velkých hromadách, mají sklon k samozahřívání a následnému samovznícení [3].

Dřevěné brikety mají sklon i k tepelnému samovznícení, proto je potřeba je chránit před zdrojem tepla s teplotou vyšší než je jejich teplota samovznícení. Také je nutné brikety skladovat v bezpečné vzdálenosti od lehce zápalných látek a zdroje zapálení [25].

Při manipulaci s tímto biopalivem může dojít k tvorbě briketových třísek, zlomků a pilin, které jsou z hlediska skladování považovány za prach a právě prach může být příčinou jeho samovznícení, protože má sklon k tepelnému samovznícení.

Způsoby skladování tuhých paliv jsou uvedeny v normě ČSN 44 1315 – Tuhá paliva - Skladování [12]. Avšak tato norma se vztahuje pouze na tuhá paliva, jako je např. černé a hnědé uhlí, koks, brikety apod. Předpisy pro bezpečné skladování dřeva zatím nejsou zpracovány.

8 METODA STANOVENÍ SPALNÉHO TEPLA A VÝHŘEVNOSTI TUHÝCH PALIV

Znalost hodnoty spalného tepla je důležitá z hlediska represivních zásahů při požárů, slouží k výpočtu požárního zatížení prostoru. Na základě spalného tepla lze určit u plynů a par i dolní hranici výbušnosti a ze spalného tepla a tepelných vlastností také teplotu plamene [4].

Ke stanovení spalného tepla a výhřevnosti tuhých paliv slouží kyslíkový kalorimetr, jedná se o metodu **ČSN ISO 1928 (44 1352)** [13].

Zkušební zařízení je zobrazeno na obrázku 4.



Obrázek 4: Kyslíkový kalorimetr

Princip zkoušky

Podstatou zkoušky je spálení materiálu (o hmotnosti kolem 1g) v ocelové tlakové nádobě v atmosféře kyslíku pod tlakem 2 – 3 MPa. Tato tzv. kalorimetrická tlaková nádoba je umístěna v tepelně izolované kalorimetrické nádobě, která je naplněna vodou. Teplo uvolněné spálením paliva se rozptýlí ve vodě v kalorimetrické nádobě. Vzestup teploty vody v průběhu měření je přímo úměrný množství tohoto vzniklého tepla. Vzorek se zapaluje teplem elektricky rozžhaveného tenkého ocelového drátku [6].

Specifickou normou, zkoušející výrobky z biomasy, je norma – **Tuhá biopaliva – metoda stanovení spalného tepla a výhřevnosti ČSN P CEN/TS 14918** [15].

Jedná se o metodu stanovení spalného tepla tuhého biopaliva při konstantním objemu a referenční teplotě 25°C v kalorimetrické tlakové nádobě kalibrované spálením certifikované kyseliny benzoové [15].

Na rozdíl od normy ČSN ISO 1928, kde vzorky mohou být v libovolném tvaru, se biopaliva testují ve formě pelet nebo v práškové formě, uzavřené ve spalovacím váčku nebo kapsli. Dále se u vzorků provádí analýza obsahu vody, aby se umožnily vhodné opravy obsahu vody v analytickém vzorku. Kalorimetrické stanovení se skládá ze dvou oddělených zkoušek, spalování kalibrační látky (kyseliny benzoové) a spalování biopaliva. Zkouška sestává z provedení kvantitativní spalovací reakce (v tlakové nádobě s kyslíkem za vysokého tlaku) na definované produkty spalování a ze změření změny teploty způsobené celkovým průběhem reakce v tlakové nádobě.

Příprava tlakové nádoby pro měření je podobná jako u normy ČSN ISO 1928, s tím rozdílem, že ke vzorku se přidá spalovací látka a do tlakové nádoby se přidá definované množství destilované vody, aby bylo dosaženo úplného spálení. Po sestavení tlakové nádoby se naplní kyslíkem a uloží do kalorimetrické nádoby, která se naplní požadovaným množstvím vody.

Stejně jako u normy ČSN ISO 1928 se měření teploty provádí během počátečního, hlavního a konečného úseku. Na konci počátečního úseku dochází k zapálení vzorku a v hlavním úseku probíhá spalování biopaliva. Po ukončení všech požadovaných odečtů teplot se tlaková nádoba rozebere a provede se analýza spalin hoření.

V normě je dále uveden návod pro provedení kalibrace a potřebné výpočty pro stanovení spalného tepla a výhřevnosti tuhých biopaliv.

Pro stanovení spalného tepla dřevěných briket byla využita metoda podle normy ČSN ISO 1928, neboť v laboratořích na Vysoké škole báňské, fakultě bezpečnostního inženýrství se nenachází zkušební zařízení k provedení metody podle normy ČSN P CEN/TS 14918.

Jelikož se jedná o stěžejní metodu této bakalářské práce, bude tato metoda podrobněji popsána v její praktické části.

9 METODA PRO HODNOCENÍ VZNĚTLIVOSTI – ZAPALITELNOSTI MATERIÁLŮ

Nejpoužívanější metodou pro stanovení parametrů zapalitelnosti tuhých materiálů v různých formách je **Setchkinův test** – ČSN 64 0149 [14], který umožňuje stanovit:

- **teplotu vzplanutí** (FIT – Flame Ignition Temperature) – nejnižší teplota vzduchu proudícího kolem zkoumaného vzorku materiálu, při kterém se uvolní z materiálu dostatečné množství rozkladných zplodin, které s proudícím vzduchem vytvoří směs schopnou zapálení pomocí vnějšího plamenného zdroje,
- **teplotu vznícení** (SIT – Spontaneous Ignition Temperature) – nejnižší teplota vzduchu proudícího kolem vzorku, při které dojde k samostatnému zapálení vzorku nebo produktů jeho rozkladu bez přítomnosti vnějšího zápalného zdroje,
- **teplotu žhnutí** (GT – Glowing Temperature) – nejnižší teplota vzduchu, při které se iniciuje bezplamenné hoření zkoušeného materiálu, teplota žhnutí se podle ČSN stanovuje v případě, že do 750°C není zaregistrováno vzplanutí nebo vznícení materiálu, žhnutí je nejčastěji pozorováno na celulósových materiálech, avšak i některých plastech [6].

Tato zkouška se provádí v elektrické odporové peci (viz obrázek 5).



Obrázek 5: Zkušební zařízení podle Setchkina

Princip zkoušky

Vzorek materiálu je zahříván proudem vzduchu konstantní teploty a konstantní rychlosti proudění. Sleduje se, zda během 15 min nedojde ke vzplanutí či vznícení materiálu. Vznik plamene se zjistí vizuálně a také sledováním průběhu teploty vzduchu během měření (pomocí připojeného termoelektrického článku na vstup liniového zapisovače) [27].

Tato zkouška bude také podrobněji popsána v praktické části této práce.

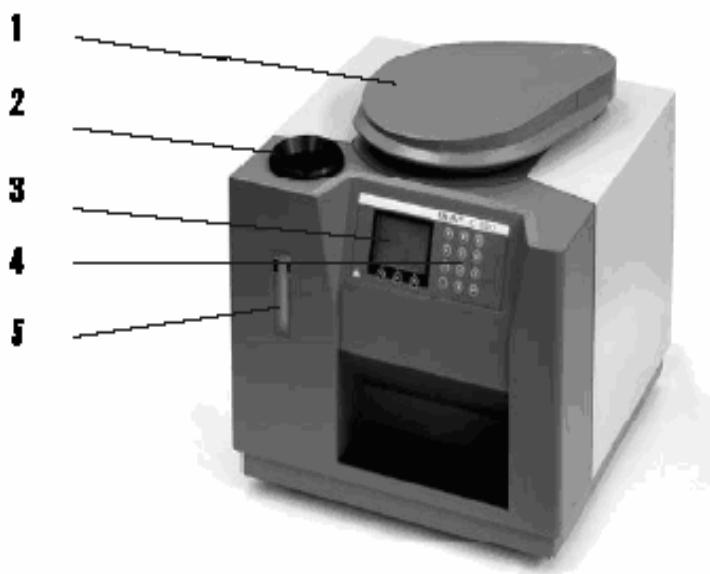
10 STANOVENÍ SPALNÉHO TEPLA DŘEVĚNÝCH BRIKET POMOCÍ KYSLÍKOVÉHO KALORIMETRU

Cílem tohoto měření je stanovit spalné teplo původního vzorku a upravených vzorků briketové drtě pomocí kyslíkového kalorimetru.

Pro zjištění spalného tepla a tím i kvality dřevěných briket byla použita norma ČSN ISO 1928. Práce na přístroji byla jednoduchá, neboť byl kalorimetr nastaven na isoperibolický režim, což znamená, že odpadla nutnost odečítání teploty v určených časech a výpočtu samotného výsledku. Každé měření trvalo asi 17 min.

10.1 Popis zkušebního zařízení

Zkouška byla provedena pomocí kalorimetru IKA C 200 (viz obrázek 6).



Obrázek 6: Kalorimetr IKA C 200 [16]

1 – kryt měřicí komory, 2 – plnicí hrdlo nádržky, 3 – displej, 4 – klávesnice, 5 – zobrazení hladiny kapaliny

10.2 Příprava vzorků jejich dlouhodobým záhřevem

Jelikož cílem této bakalářské práce je kvantifikovat změny hodnoty spalného tepla v důsledku zahřívání, je potřeba připravit vzorky dřevěných briket jejich dlouhodobým záhřevem.

Nejprve bylo zapotřebí vzorek dřevěných briket nadrtit. Po rozdrcení bylo patrné, že briketa je složena ze dvou velikostí dřevní hmoty – třísky a jemné piliny. Z této briketové drtě se nejdříve připravily dva vzorky. První vzorek – vzorek č. 1 – původní – se vložil do plastové nádoby, dobře se utěsnil lepicí páskou a uložil na suché místo. Druhý vzorek – vzorek č. 2 - o hmotnosti 10, 797 g se vložil do zkumavky a ponořil do olejové lázně s termostatem typu CC1, kde byla teplota nastavena na 195°C. Tato teplota byla zvolena proto, že při teplotním rozmezí 200 – 280 °C uvedeném v tabulce 1 dochází k uvolnění prchavých látek.

Zbytek briketové drtě se dal do plastové nádoby, která se utěsnila lepicí páskou.

Po čtyřech hodinách od zahájení zahřívání začal vzorek doutnat a zbarvil se dohněda. Ze silného vývinu kouře bylo patrné, že vzorek se může vznítit, proto bylo zahřívání ukončeno. Vzorek byl po ochlazení uložen do utěsněné vzorkovnice pro pozdější stanovení spalného tepla.

Pro další pokusy byla zvolena nižší teplota, při které bylo nepravděpodobné, že dojde ke vznícení vzorku.

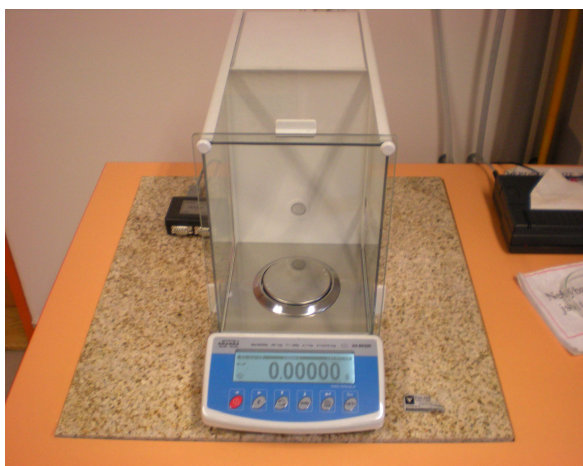
Z briketové drtě se odvážil další vzorek č. 3 o hmotnosti 10,9 g a tentokrát byl umístěn v keramické misce do sušárny BINDER (viz obrázek 7) nastavenou na teplotu 110°C.



Obrázek 7: Sušárna BINDER

O měsíc později se do sušárny přidal vzorek č. 4 o hmotnosti 10,85 g a za další měsíc vzorek č. 5 o hmotnosti 10,58 g.

Po měsíci od vložení posledního vzorku byly všechny vzorky ze sušárny vyjmuty. Dále se pak z těchto pěti vzorků odvážílo po třech navážkách o hmotnosti kolem 1 g. Navážky byly odváženy na vahách RADWAG typu XA 60/20 (viz obrázek 8), které váží s přesností na pět desetinných míst.



Obrázek 8: Váhy RADWAG XA 60/220

Na následujícím obrázku 9 jsou vyfoceny připravené vzorky ve spalovacích miskách, u nichž se stanovilo spalné teplo. Při pohledu na tento obrázek je patrné, že velikost doby zahřívání se projeví na vzorcích briketové drtě rozdílnou barevností.



Obrázek 9: Připravené vzorky

Zleva: původní vzorek – vzorek č. 1, sušené vzorky - vzorek č. 5, vzorek č. 4, vzorek č. 3, vzorek č. 2.

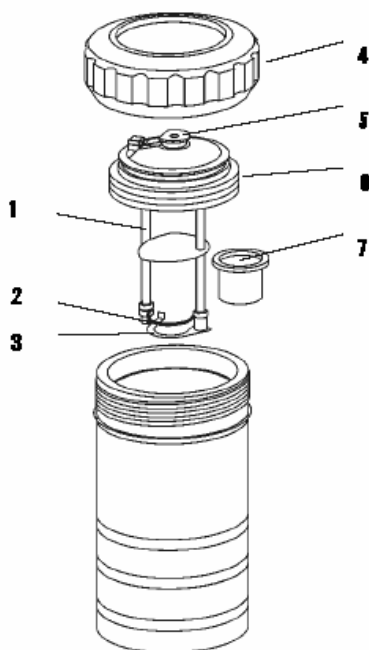
Pro lepší orientaci je v tabulce 5 uveden přehled všech připravených vzorků.

Tabulka 5: Přehled připravených vzorků

Název vzorku	Charakteristika vzorku
Vzorek č. 1	původní vzorek
Vzorek č. 2	vzorek sušený při teplotě 195°C
Vzorek č. 3	vzorek sušený 3 měsíce při teplotě 110°C
Vzorek č. 4	vzorek sušený 2 měsíce 110°C
Vzorek č. 5	vzorek sušený 1 měsíc 110°C

10.3 Pracovní postup stanovení spalného tepla

Připravený vzorek ve spalovací misce se vloží do podložky kelímku rozkladné nádoby (viz obrázek 10). Dále se na zapalovací drátek připevní zapalovací bavlněná nitka (opravná hodnota na bavlnku činí 50 J) a vloží pod vzorek. Rozkladná nádoba se uzavře šroubovou maticí a naplní kyslíkem na přetlak 2,5 až 3,5 MPa. Poté se na víko nádoby nasune zapalovací adaptér a nádoba se vloží do kalorimetru.



Obrázek 10: Rozkladná nádoba [16]

1 – kontakt elektrického zapalování, 2 – zapalovací drátek, 3 – podložka kelímku, 4 – spojovací matice, 5 – kyslíkový ventil, 6 – kryt, 7 - kelímek

Před měřením se do zásobníku kalorimetru nalijí asi 2 litry vody, ve které jsou rozpuštěny kostky ledu. Po sestavení kalorimetru a jeho naplnění vodou se přístroj uzavře víkem [27].

Aby bylo zajištěno správné fungování zařízení, je nutné zvolit požadované nastavení. Volbou MEASUREMENT (F2) se dostaneme do menu „Prepare measurement“. Pomocí klávesnic zadáme váhu vzorku do pole „Weight“. Po zadání těchto hodnot se objeví dotaz „Storage filled?“. Potvrdíme tlačítkem CONTINUE (F1). Dále se objeví zpráva „Close the cover“. Pokud je uzavřeno víko, kalorimetr přejde do režimu měření a na obrazovce se objeví text „Filling“.

Jelikož je kalorimetr nastaven na isoperibolický režim, probíhá měření zcela automaticky. Po ukončení měření se na obrazovce objeví výsledek.

Po ukončení měření se otevře kryt. Zvednutím víka se začne vypouštět voda z kalorimetrické nádoby. Po vypuštění vody se vytáhne rozkladná nádobka a pomocí adaptéru se uvolní přetlak. Po otevření rozkladné nádoby se zkontroluje, zda došlo k dokonalému spálení vzorku ve spalovacím kelímku [16].

Pro stanovení spalného tepla dalších vzorků se všechny části rozkladné nádoby opláchnou, vysuší, výsledek se zaznamená a postup se opakuje.

Po ukončení měření se ze dna kalorimetrické nádoby sejme sítko z vypouštěcí armatury, vyjme se spodní držák a magnetické míchadlo. Vnitřek kalorimetru se vysuší hadrem [27].

10.4 Výsledky získané metodou ČSN ISO 1928

V tabulce 6 jsou uvedeny hodnoty spalného tepla všech pěti vzorků. Každý vzorek byl zkoušek třikrát. Vzorek č. 1 (původní) se podařilo zapálit až na druhý pokus – zřejmě kvůli větší vlhkosti. U vzorku č. 5 byla ve všech třech případech měření pozorována žlutá kapalina. Po setření stěny nádoby pH papírkem se ukázalo, že se jedná o silnou kyselinu, její pH bylo 1 až 2.

Tabulka 6: Výsledky získané metodou ČSN ISO 1928

Hodnoty spalného tepla [J/g]					
	vzorek č. 1	vzorek č. 2	vzorek č. 3	vzorek č. 4	vzorek č. 5
1. měření	18688 ⁺	19504	19315	19275	19102 [°]
2. měření	18595 ⁺	19468	19337	19250	19169 [°]
3. měření	18708	19487	19390	19234	19131 [°]
Průměrné spalné teplo po zaokrouhlení	18664	19486	19347	19253	19134

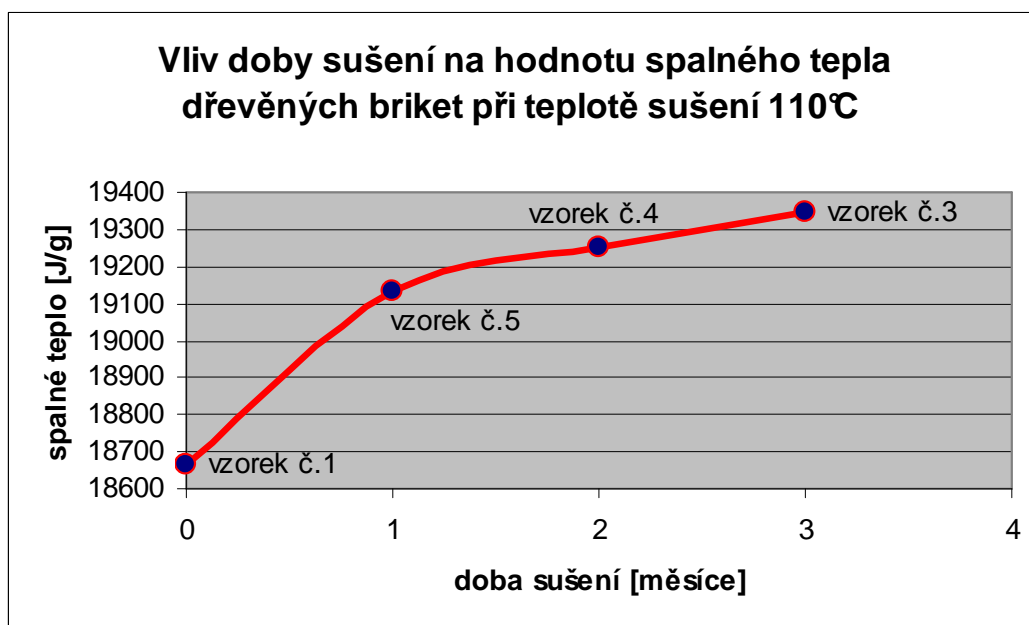
⁺ vzorek zapálen na druhý pokus

[°] v rozkladné nádobce pozorována žlutá kapalina – kyselina

10.5 Ovlivnění velikosti spalného tepla dřevěných briket

Na obrázku 11 je uveden graf, který znázorňuje jaký vliv má doba sušení dřevěných briket na hodnotu spalného tepla. Do tohoto grafu jsou zahrnuty pouze vzorky č. 1, 3, 4 a 5, neboť vzorek č.2 byl sušen při jiné teplotě. Z tohoto důvodu je na obrázku 12 uveden další graf, který sleduje vliv teploty sušení na hodnotu spalného tepla.

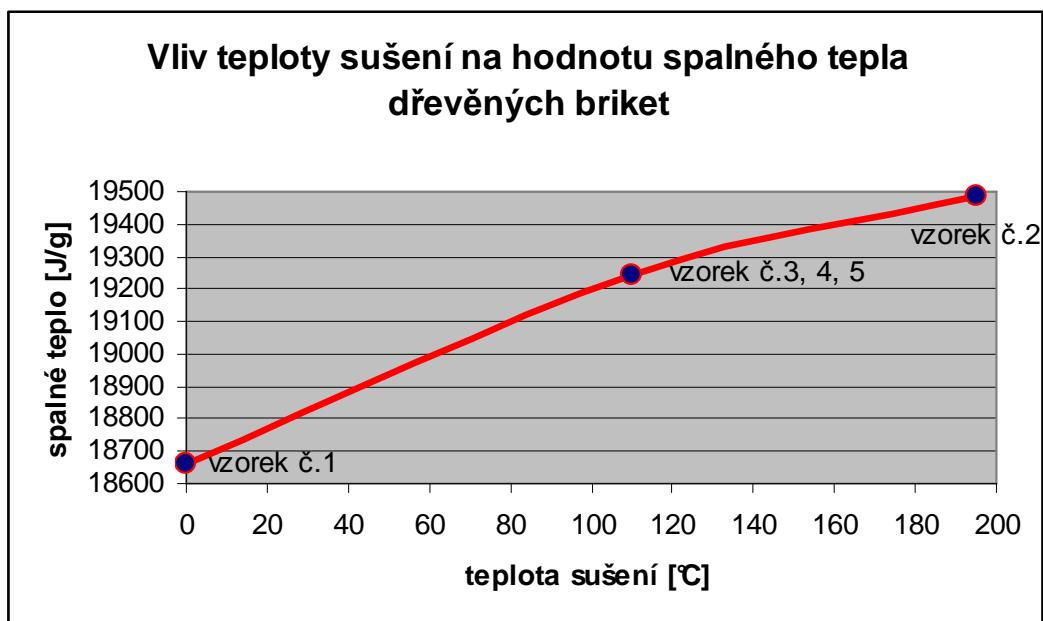
10.5.1 Doba sušení



Obrázek 11: Vliv doby sušení na hodnotu spalného tepla dřevěných briket při teplotě sušení 110°C

Z grafu je zřejmé, že hodnota spalného tepla nesusušeného vzorku je výrazně nižší než u sušených vzorků. U sušených vzorků se hodnota spalného tepla liší jen nepatrně. Z této závislosti je možné odvodit, že čím jsou dřevěné brikety sušší, tím jsou pro energetické využití vhodnější.

10.5.2 Teplota sušení



Obrázek 12: Vliv teploty sušení na hodnotu spalného tepla dřevěných briket

Z tohoto grafu lze odvodit, že i teplota sušení má výrazný vliv na hodnotu spalného tepla. Nejvyšší spalné teplo vykazoval vzorek č. 2, který byl sušen v olejové lázni při teplotě 195°C.

Závěr

Ze zjištěných výsledků vyplývá, že v důsledku dlouhodobého zahřívání dřevěné drtě z briket při teplotě 110 °C dochází pouze ke snížení obsahu vlhkosti. Proto u vzorků zahříváných po různou dobu od jednoho do tří měsíců dochází ke zvyšování hodnoty spalného tepla. Kdyby se při tomto záhřevu začaly uvolňovat hořlavé látky, muselo by docházet ke snižování hodnoty spalného tepla. To potvrzují údaje uvedené v tabulce 1, kde je v teplotním rozmezí 100-150 °C předpokládáno pouze uvolnění volné vlhkosti ze dřeva.

Z hlediska skladování briket to znamená, že jejich zahřívání na teplotu kolem 100 °C po velmi dlouhou dobu, nezpůsobí ztrátu energetického obsahu a tedy znehodnocení briket. K takovému dlouhodobému zahřívání může dojít například v důsledku uložení briket

v blízkosti nějakého zdroje tepla (např. topné těleso ve sklepě), nebo v důsledku samovolného zahřívání drtě z briket, která má k samovznícení sklon.

Rovněž krátkodobé zahřátí na vyšší teplotu vedlo také pouze ke zvýšení hodnoty spalného tepla. Opět tím byly potvrzeny údaje uvedené v tabulce 1, kde v teplotním rozmezí od 150 do 200 °C dochází pouze k úbytku vázané vlhkosti. Krátkodobé zahřátí zvýšilo spalné teplo na maximální hodnotu, naměřenou v této práci. Toto zahřívání ovšem bylo přerušeno s ohledem na možnost vzplanutí vzorku.

Z hlediska bezpečnosti při skladování je ale třeba zvážit další změnu, ke které v důsledku dlouhodobého zahřívání dochází. U všech vzorků bylo pozorováno, že čím delší je doba zahřívání, tím má vzorek tmavší barvu (viz obrázek 9). Protože prchavá hořlavina se neuvolnila, jak bylo potvrzeno hodnotou spalného tepla, dochází k chemickým změnám některých látek ve dřevě obsažených.

Působením vyšší teploty a vlhkosti sušícího prostředí se přirozené zbarvení dřeva mění a dřevo získává sytější barvu. Příčinou jsou chemické změny některých látek obsažených ve dřevě, především ligninu a pentozanů (hemicelulózy) a oxidace barviv a tříslovin. Listnaté dřevo se zbarvuje intenzivněji než jehličnaté (obsahuje více pentozan). Změna barvy při sušení se nepovažuje za vadu, některé dřeviny naopak získávají rovnoměrnější syté zbarvení (např. ořech, jilm, buk). U některých dřevin je nutno zachovat původní světlé zbarvení (javor, bříza, topol, lípa), proto se musí sušit při nízkých teplotách (do 60 °C) a při nižších vlhkostech [26].

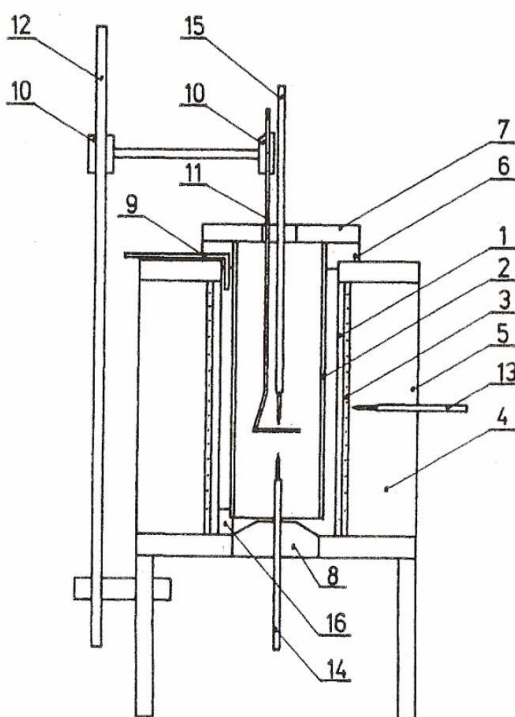
Jak působí tyto změny na další vlastnosti dřeva, související s jeho požárně technickými charakteristikami, bylo ověřeno pomocí stanovení teploty vznícení.

11 STANOVENÍ TEPLoty VZNÍCENÍ DŘEVĚNÝCH BRIKET POMOCÍ SETCHKINOVA TESTU

Cílem tohoto měření je stanovit teplotu vznícení dřevěných briket pomocí elektricky vyhřívané pece. Tato zkouška byla provedena podle normy ČSN 64 0149 pro dva vzorky, z nichž jeden je sušený a druhý je původní, protože jejich teplota vznícení se bude vlivem obsahu vody lišit. Znalost teploty vznícení briket je důležitá, neboť působením této teploty a vyšší může dojít k jejich vznícení a tím ke vzniku požáru, jehož důsledkem je ohrožení bezpečnosti.

11.1 Popis zkušebního zařízení

Na obrázku 13 je pec pro stanovení vznětlivosti materiálů dle Setchkina.



Obrázek 13: Pec pro stanovení vznětlivosti materiálů dle Setchkina [14]

1 - vnější topný válec, 2 - vnitřní válec, 3 - topné vinutí, 4 - izolační materiál, 5 - vnější plášť, 6 - příruba, 7 - víko, 8 - vyjímatelný uzávěr, 9 - trubička pro přívod vzduchu, 10 - fixační bloky, 11 - držák vzorku, 12 - vodící tyč, 13 - termočlánek regulátoru, 14 - termočlánek pro měření teploty, 15 - termočlánek pro měření teploty vzorku, 16 - podstavný prstenec

11.2 Příprava zkušebních vzorků

Z původní a sušené briketové drtě (viz obrázek 14) se odváží vzorky o hmotnosti kolem 2 g.



Obrázek 14: Nesušená a sušená briketová drť

11.3 Pracovní postup

Před provedením zkoušky se nejprve nastaví zkušební zařízení. Pomocí regulátoru se zvolí teplota tak, aby byla blízká předpokládané hodnotě teploty vznícení dřevěných briket. Protože teplota vznícení dřeva je známá ($280^{\circ}\text{C} - 399^{\circ}\text{C}$), byla teplota v peci nastavena na teplotu 280°C . Jelikož má pec poměrně velkou tepelnou setrvačnost, je nutné při změně teploty čekat přibližně 30 minut na její ustálení. Dále se do pece vpustí vzduch o objemovém průtoku odpovídajícím konstantní rychlosti proudění vzduchu pecí $25 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Hodnota objemového průtoku vzduchu, měřeného za normální teploty, vzhledem ke zvolené teplotě vzduchu je korigována podle grafu závislosti průtoku vzduchu Setchkinovou pecí na jeho teplotě.

Po ustálení teploty v peci se vloží do čisté vyhřáté misky zkoušený materiál. Miska se zkoušeným materiálem se umístí do držáku a spustí do pece a současně se začne měřit čas. Vložení vzorku do pece je nutno učinit v čase co nejkratším, aby nedošlo ke zbytečnému poklesu teploty vzduchu v peci.

Okamžik vznícení vzorku se zjistí vizuálně pomocí zrcátka a zároveň dojde k rychlému růstu teploty vzorku na záznamu zapisovače. Během měření se také sledují průvodní jevy (kouř, vyšlenutí plamene, akustické projevy atd.).

Jestliže do 15 min. od začátku zkoušky dojde ke vznícení, opakuje se stanovení vždy s novým zkušebním vzorkem při postupně se snižujících teplotách vzduchu v peci o 10°C až do teploty, při které ke vznícení vzorku nedojde do 15 min.

Výslednou teplotou vznícení je pak nejnižší teplota, při které ještě došlo ke vznícení vzorku. Tato teplota se zaokrouhluje na nejbližších 10°C, lépe 5°C [14].

11.4 Výsledky získané metodou podle Setchkina a zhodnocení výsledků

V tabulce 7 jsou uvedeny výsledky měření získané metodou podle Setchkina.

Tabulka 7: Výsledky získané metodou podle Setchkina

Původní vzorek				
Teplota [°C]	1.měření	2.měření	Průvodní jevy	Popis zbytku
280	vznítil	vznítil	bílý kouř	žhnutí
270	vznítil	vznítil	bílý kouř	velmi malé žhnutí
260	nevznítil	nevznítil	nebyly zpozorovány	nežhnul
Sušený vzorek				
Teplota [°C]	1.měření	2.měření	Průvodní jevy	Popis zbytku
250	vznítil	vznítil	bílý kouř	velmi malé žhnutí
240	nevznítil	nevznítil	nebyly zpozorovány	nežhnul

Závěr

Teplota vznícení nesusušené briketové drtě je 270°C. Teplota vznícení sušeného vzorku je 250°C. Z těchto získaných hodnot je patrné, že obsah vody má značný vliv na teplotu vznícení. Čím sušší je briketa, tím nižší je její teplota vznícení. Jelikož teplota vznícení je závislá na zkušebních podmínkách (druh zařízení, množství zkoušené látky atd.), může se její hodnota v laboratorních podmínkách od reálných podmínek lišit.

Avšak lze říci, že čím sušší je biopalivo, tím je jeho skladování nebezpečnější, neboť může dojít k jeho vznícení při nižších teplotách.

12 ZÁVĚR

Samovznícení je většinou dlouhotrvající děj. Nejprve se teplota látky v důsledku různých pochodů (oxidace, polymerace) pomalu zvyšuje. V důsledku těchto pochodů také dochází ke změnám chemických látek, které tvoří zahřívaný materiál. Tento pomalý nárůst teploty trvá i několik týdnů nebo měsíců a po dosažení určité teploty, která je pro každou látku charakteristická, dojde za vhodných podmínek k prudkému nárůstu teploty a následně ke vznícení. K tomuto samovznícení mají sklon zejména celulózové materiály, tedy i brikety vyrobené z dřevěné drtě [3].

V této práci byl hodnocen vliv dlouhodobého zahřívání (tj. simulace první fáze samovznícení) na jednu ze základních vlastností dřevěných briket – spalné teplo.

Při dlouhodobém zahřívání briketové drtě na teplotu 110 °C bylo zjištěno, že dochází ke zvyšování hodnoty spalného tepla, tzn. že se ze dřeva uvolňuje pouze vlhkost. Zahřívání trvalo po dobu 1, 2 a 3 měsíců. Kromě hodnoceného spalného tepla se mění i další vlastnosti dřevěné hmoty.

Při zahřívání dřevo hnědne, neboť působením vyšší teploty a vlhkosti sušícího prostředí se přirozené zbarvení dřeva mění a dřevo získává sytější barvu. Příčinou jsou chemické změny některých látek obsažených ve dřevě, především ligninu a pentozanů (hemicelulózy) a oxidace barviv a tříslovin [26].

Bylo zjištěno, že zapalování nesusušeného vzorku (při stanovení spalného tepla) je někdy problematické – zřejmě kvůli větší vlhkosti. Proto bylo navíc provedeno stanovení teploty vznícení u sušeného a nesusušeného vzorku.

Stanovení teploty vznícení ukázalo, že obsah vlhkosti má zásadní vliv na teplotu vznícení, která klesá se snižujícím se obsahem vlhkosti. Z toho tedy plyne, že dlouhodobým zahříváním stoupá nebezpečí vznícení briket.

Z výše uvedeného vyplývá, že dlouhodobé zahřívání briket i na poměrně nízkou teplotu, zvyšuje možnost vzniku požáru. Proto by mělo být v pravidlech pro skladování briket uvedeno varování před tímto nebezpečím. V současné době však neexistuje žádný právní předpis, který by specifikoval nebezpečí spojené se skladováním paliv vyrobených z biomasy. Pro skladování fosilních paliv platí norma ČSN 44 1315, která stanoví podrobné pokyny pro skladování, např. výška hromad v závislosti na druhu paliva, způsob sledování teploty hromady paliva a pokyny pro likvidaci paliva zahřívaného nad povolenou hranici. Pro paliva z biomasy takové pokyny nejsou zpracovány. Nejsou stanoveny požadavky na vlastnosti těchto paliv ani pravidla pro skladování jak na volném prostoru, tak v budovách.

13 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ANDERT, D., SLADKÝ, V., ABRHAM, Z. *Příručka 2006/7 - Energetické využití pevné biomasy*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2006. s.59. ISBN 80-86844-19-8, dostupné také z <http://www.vuzt.cz/?menuid=476>.
- [2] BABRAUSKAS, Vytenis. *Ignition Handbook: Principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management and forensic science*. Issaquah, WA98027, USA: Fire Science Publishers, 2003. 1116 s. Library of Congress Control Publishers Number 2003090333. ISBN 0-9728111-3-3.
- [3] BALOG, Karol. *Samovznietenie: Samozahrievanie. Vznetenie. Vzplanutie*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. 133 s. ISBN 80-86111-45-8.
- [4] BARTLOVÁ, Ivana. *Nebezpečné látky I*. 2. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005. 211 s. ISBN 80-86634-59-0.
- [5] DAMEC, J. *Protivýbuchová prevence*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. 2005. 188 s. ISBN 80-86111-21-0.
- [6] FILIPI, Bohdan. *Nauka o materiálu*. 1. vyd. Ostrava: SPBI, 2003. 124 s. ISBN 80-86634-11-6.
- [7] HRDLIČKA, J., et al. Problematika tvorby perzistentních organických látek při spalování biomasy. *Energie z biomasy – seminář 2003* [online]. 2003 [cit. 2010-02-06]. Dostupný z WWW: <<http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa/Hrdlicka.pdf>>.
- [8] KAČÍKOVÁ, Danica; NETOPILOVÁ, Miroslava; OSVALD, Anton. *Drevo a jeho termická degradácia*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006. 79 s. ISBN80-86634-78-7.
- [9] LAUKO, Pavel. *Termický rozklad dřeva* [online]. [s.l.], 2002. 21 s. Seminární práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Dostupné z WWW: <http://www.upramene.cz/forum/files/ch2_horeni_dreva1_213.pdf>.
- [10] ŠEVĚČEK, P.; NETOPILOVÁ, M. *Nauka o materiálu II: Požárně-technické vlastnosti syntetických a přírodních materiálů*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská Ostrava, 1986. 198 s.
- [11] TISSARI, J., et al. Fine particle and gaseous emissions from normal and smouldering. *Atmospheric Environment* [online]. 2008 [cit. 2010-02-06].

- [12] ČSN 44 1315: *Tuhá paliva – Skladování*. Praha: Český normalizační institut, 2007. s.15.
- [13] ČSN ISO 1928 (44 1352): *Tuhá paliva – Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti*. Praha: Český normalizační institut, 1999. s.63.
- [14] ČSN 64 0149: *Stanovení vznětlivosti materiálů*. Praha: Český normalizační institut, 1990. s.8.
- [15] ČSN P CEN/TS 14918 (83 8214): *Tuhá biopaliva – Metoda stanovení spalného tepla a výhřevnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2006. s.62.
- [16] Kalorimetr C200, Provozní manuál. IKA WERKE C200 Verze 02/2.06.
- [17] *Biomasa* [online]. 2008 [cit. 2010-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.energetickyporadce.cz/uspory-ve-firmach/vyuziti-obnovitelnych-zdroju/biomasa.html#vyhody-nevyhody>>.
- [18] *Biom.cz* [online]. 2001 [cit. 2010-02-05]. Obnovitelné zdroje energie. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-obnovitelne-zdroje-energie>>.
- [19] *Biomasa - definice a členění* [online]. c2001-2010 [cit. 2010-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=5641>>.
- [20] *Biomasa : dřevo* [online]. 2009 [cit. 2010-02-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.biomasa-sro.cz/cz/drevo/>>.
- [21] *Brontosaurus* [online]. 2009 [cit. 2010-02-01]. Aktualizovaný slovník ekologických pojmů. Dostupné z WWW: <<http://vzdelavani.brontosaurus.cz/pro-organizatory/ekologickavychova/143-aktualizovany-slovník-ekologickych-pojm.html>>.
- [22] *Dřevěné brikety* [online]. c2010 [cit. 2010-02-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.jilos.cz/ostatni/drevene-brikety.htm>>.
- [23] *Enviterm* [online]. 2009 [cit. 2010-03-05]. Dřevní brikety. Dostupné z WWW: <<http://www.enviterm.cz/drevni-brikety>>.
- [24] *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva* [online]. 2009 [cit. 2010-02-02]. Dostupný z WWW: <<http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=node/49>>.
- [25] *Jihobrik* [online]. 2009 [cit. 2010-03-01]. Výroba dřevěných briket. Dostupné z WWW: <<http://www.jihobrik.cz/jihobrik.htm>>.
- [26] *Langstroth.wz.cz* [online]. 2003 [cit. 2010-03-22]. Sušení dřeva. Dostupné z WWW: <<http://www.langstroth.wz.cz/index.php?page=0031>>.

- [27] *Návody do cvičení NoM I.* [online]. VŠB-TU Ostrava, c2004-2008 [cit. 2008-04-21]. Dostupný z WWW: <<http://homen.vsb.cz/~www547/WEB/TEXTY/NM/navody.htm#u6>>.
- [28] *Obnovitelné zdroje energie* [online]. 2008 [cit. 2010-02-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.green-profit.cz/obnovitelne-zdroje-energie--5.html>>.
- [29] *Pila Přemyslovice* [online]. 2009 [cit. 2010-03-01]. Dřevěné pilinové Eko Brikety. Dostupné z WWW: <<http://www.pila-lehar.cz/letak.pdf>>.
- [30] *Požární řád* [online]. 2009 [cit. 2010-02-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.msjanov.unas.cz/pozarnirad.html>>.
- [31] *Proč topit biomasou?* [online]. 2008 [cit. 2010-02-04]. Dostupný z WWW: <http://www.ekoporadna.cz/wiki/doku.php?id=energie:proc_topit_biomassou>.
- [32] *Vše pro hasiče : samovznícení* [online]. 2009 [cit. 2010-02-02]. Dostupný z WWW: <<http://firepatch.blog.cz/0901/samovzniceni>>.

14 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma cyklu dendromasy.....	19
Obrázek 2: Dřevní brikety	22
Obrázek 3: Klikový lis pro výrobu briket.....	23
Obrázek 4: Kyslíkový kalorimetr	26
Obrázek 5: Zkušební zařízení podle Setchkina	28
Obrázek 6: Kalorimetr IKA C 200	30
Obrázek 7: Sušárna BINDER	31
Obrázek 8: Váhy RADWAG XA 60/220	32
Obrázek 9: Připravené vzorky	32
Obrázek 10: Rozkladná nádoba	33
Obrázek 11: Vliv doby sušení na hodnotu spalného tepla dřevěných briket.....	35
Obrázek 12: Vliv teploty sušení na hodnotu spalného tepla dřevěných briket.....	36
Obrázek 13: Pec pro stanovení vznětlivost materiálů dle Setchkina.....	38
Obrázek 14: Nesušená a sušená briketová drť	39

15 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Tepelný rozklad dřeva	16
Tabulka 2: Emisní plyny uvolněné při hoření	16
Tabulka 3: Výhody a nevýhody použití biomasy	18
Tabulka 4: Srovnání kvality různých biopaliv.....	24
Tabulka 5: Přehled připravených vzorků.....	33
Tabulka 6: Výsledky získané metodou ČSN ISO 1928.....	35
Tabulka 7: Výsledky získané metodou podle Setchkina	40

16 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ČSN	česká technická norma
PE	polyethylen