



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

VLIV SKLÁDKOVÁNÍ NA VÝHŘEVNOST BIOMASY

IMPACT OF BIOMASS STORING ON HEATING VALUE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Černý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Lisý, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Michal Černý**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce: **Ing. Martin Lisý, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vliv skládkování na výhřevnost biomasy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Základním tematem práce je stanovení vlivu skládkování dřevní biomasy na její výhřevnost. Provést rešerži dané problematiky a také experimentálně ověřit časovou degradaci biomasy při venkovním skladování.

Cíle bakalářské práce:

- provést rešerži vlastnosti biomasy jako paliva, palivových charakteristik
- provést rešerži problematiky spalování biomasy
- provést rešerži vlivu klimatických podmínek na degradaci biomasy při skládkování
- experimentálně ověřit vliv skladování na parametry biomasy

Seznam literatury:

Trávníček et kol.: Technologie zpracování biomasy za účelem energetického využití, MZLU 2015, ISBN 978-80-7509-206

Jandačka, J. a kol.: Biomasa ako zdroj energie. Žilina 2008, ISBN 978-80-969161-3-9

Jandačka, J., Mikulík, M.: Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. TU Žilina 2007, ISBN 978-80-969595-4-9

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 1. 12. 2015



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Kátolický, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Hlavním cílem této bakalářské práce je experimentální ověření vlivu skládkování na parametry biomasy. První část práce se zabývá definicí, vznikem a základním rozdělením biomasy. V další části práce najdeme problematiku ohledně spalování, složení paliva a emise při spalování. Poslední část práce se zabývá vlivem klimatických podmínek na degradaci biomasy. V experimentální části bylo prováděno měření spalného tepla na kalorimetru. Výsledkem bylo zjištění, že po měřené období pěti měsíců nedocházelo k výrazné degradaci paliva.

Klíčová slova

Biomasa, dendromasa, fytomasa, spalování, emise, spalné teplo, degradace

Abstract

The main aim of my bachelor's work is the experimental verification of the landfill impact on the parameters biomass. The first part deals with definition, the formation of a basic biomass division. In the next section we find the issues concerning the burning, fuel composition and emissions during combustion. The last part deals with the influence of climatic conditions on the biomass degradation. In the experimental part were measured calorific calorimeter. The result was that, after a measured period of five months to avoid significant degradation of the fuel.

Key words

Biomass, dendromass, phytomass, combustion, emissions, heating value, degradation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČERNÝ, M. *Vliv skládkování na výhřevnost biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Lisý, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Dále prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 26. května 2016

.....
Michal Černý

PODĚKOVÁNÍ

Své poděkování bych rád vyjádřil Ing. Martinu Lisému, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce za odborné vedení a poskytnutí cenných rad při zpracování této práce. Dále bych rád poděkoval specialistovi Ing. Otě Štelcovi za spolupráci a poskytnutí potřebných informací ke zpracování bakalářské práce.

Obsah

ÚVOD	15
1 Definice biomasy.....	16
2 Vznik biomasy - fotosyntéza.....	16
2.1 Zdroje biomasy	17
3 Rozdělení biomasy	17
3.1 Dendromasa - dřevní biomasa	17
3.1.1 Dřevní štěpka.....	18
3.2 Fytomasa – bylinná biomasa	20
4 Spalování biomasy	21
4.1 Složení paliva	22
4.1.1 Spalné teplo paliva	23
4.1.2 Výhřevnost paliva	23
4.2 Chemické složení biomasy	24
4.3 Problematika spalování biomasy	25
4.4 Emise při spalování biomasy	25
4.4.1 Emisní faktory CO	26
4.4.2 Emisní faktory NO _x	26
5 Vliv klimatických podmínek na degradaci biomasy	27
6 Postup měření	29
6.1 Výsledky měření	34
ZÁVĚR	36
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	37
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	39
SEZNAM OBRÁZKŮ	39
SEZNAM TABULEK	39
SEZNAM GRAFŮ	39
SEZNAM ROVNIC.....	40

ÚVOD

Biomasa se v dnešní době dostává do popředí energetického vyžití. Tato energie je známá již z pradávných dob od objevení ohně jako zdroje energie. V dnešní době je na ni pohlíženo jako na náhradu fosilních paliv. Oproti fosilním palivům neuniká při hoření do ovzduší tolik znečišťujících látek.

S větším množstvím spalování biomasy ale také nastávají určité problémy. V této práci se zabývám problematikou při spalování, spékání biomasového popele a také emisními faktory.

Nejobsáhlejší část této práce je však zaměřena na problematiku při skládkování biomasy. V palivové laboratoři byl proveden experiment, při kterém se měřilo spalné teplo skládkované biomasy. Byla pozorována degradace paliva po dobu pěti měsíců. Při experimentu jsme se snažili co nejvíce nasimulovat běžné skládkování paliva, a proto byl použit typ skládky otevřený s betonovou podlahou, jak to bývá u většiny skládek v elektrárnách.

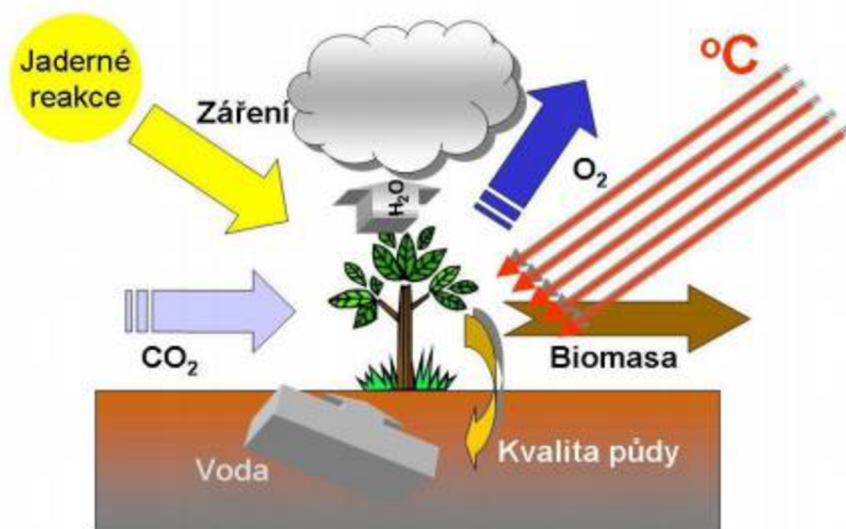
1 Definice biomasy

Definice, které nám vymezují pojem biomasa, je mnoho, ale všechny vycházejí z toho, že biomasa je hmota organického původu. Biomasa je materiál biologického původu, do kterého zahrnujeme rostlinnou biomasu pěstovanou v půdě, živočišnou biomasu a organické odpady. [1]

2 Vznik biomasy - fotosyntéza

Fotosyntéza je biochemický proces, při němž se mění světelná energie na energii chemických vazeb. Při spalování biomasy získáváme právě tuto energii z chemických vazeb. Kyslík nacházející se ve vzduchu se spojí s uhlíkem nacházejícím se v rostlině a při tom vzniká oxid uhličitý a voda. Tento proces je cyklický neboli obnovitelný, protože vzniklý oxid uhličitý je vstupní látkou pro novou biomasu. Při spalování se uvolňuje do ovzduší oxid uhličitý, ale jen takové množství, které se spotřebuje při růstu nové biomasy. Velkou roli zde hraje čas. Někdo by mohl namítat, že i uhlí je obnovitelný zdroj, protože před miliony let také spotřeboval určité množství oxidu uhličitého. [1]

Rovnice 1 Fotosyntéza z chemického hlediska [1]



Obrázek 1 Schématický průběh fotosyntézy [2]

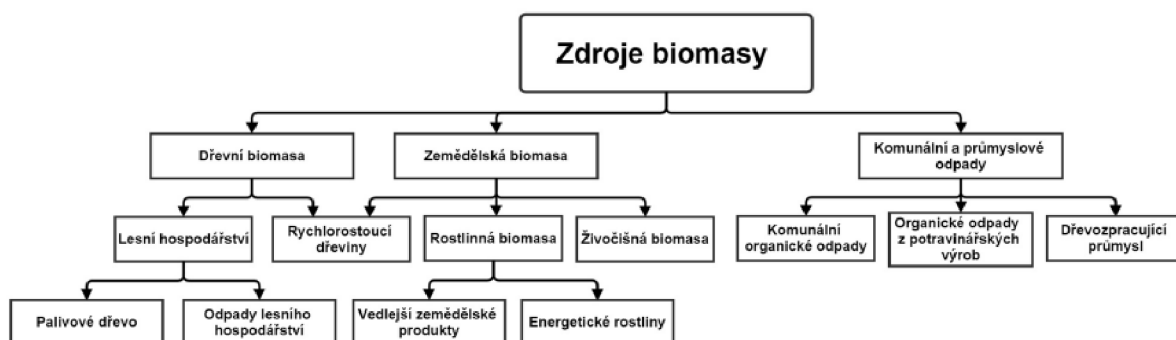
2.1 Zdroje biomasy

Jak už bylo řečeno výše, biomasa je organická hmota rostlinného nebo živočišného původu, kterou získáme ze zemědělské a lesnické výroby nebo z vedlejších produktů (průmyslové a městské odpady). Kapalné a plynné formy biomasy (etanol, metanol, dřevoplyn a bioplyn) je také možné použít na pohon motorových vozidel. Pro přehlednost rozdělení uvádím schéma rozdělení na obrázku 2. [3]

3 Rozdělení biomasy

Biomasu z hlediska původu dělíme na: [7]

- rostlinnou biomasu, která se dále dělí na:
 - A. dendromasu – dřevná biomasa;
 - B. fytomasu – jednoleté rostliny;
- živočišnou biomasu – zoomasu;
- komunální a průmyslové odpady.



Obrázek 2 Zdroje vzniku biomasy [3]

3.1 Dendromasa - dřevní biomasa

Mezi dřevní biomasu lze řadit:

- plantážní a lesní dřevo (kulatina, celé stromy, polena, zbytky po těžbě, kůra z lesních prací, dřevo z údržby krajín)
- dřevozpracující průmysl, vedlejší produkty a zbytky (chemicky ošetřené a neošetřené dřevěné zbytky, vláknité odpady rostlinného původu z celulózového a papírenského průmyslu)
- použité dřevo (chemicky ošetřené a neošetřené dřevo)

Dřevo je obnovitelná surovina převážně produkovaná z lesa. Les je považován za krátkodobě regenerativní systém. Po jeho zpracování nevznikne žádný odpad, který by nebylo možné zpracovat. Dřevní biomasa je využívána v následujících produktech. [3]

- štěpka
- piliny
- sekané dýhy
- zbytková kulatina
- odřezky

Velkou výhodou dřeva je, že si uchovává svůj energetický obsah, dokonce ho v prvních 2 až 3 letech relativně zvyšuje. Toto navyšování je dáno tím, že dřevo vysychá. Vlhkost ve dřevě je důležitý fakt, protože čím větší vlhkost, tím se zmenšuje výhřevnost, nedochází ke správnému zoxidování všech spalitelných složek, zanáší se kouřové potrubí a dochází ke snižování životnosti kotle. [1]

Při současné ceně fosilních paliv zapříčiněnou omezením zdrojů a ekologické zátěže se tyto produkty jeví jako perspektivní řešení. [3]



Obrázek 3 Zbytková kulatina [4]

3.1.1 Dřevní štěpka

Dřevní resp. lesní štěpka má vlastnosti palivového dřeva. Je získávána z dřevních odpadů po lesní těžbě a průmyslového zpracování dřeva nebo rychle rostoucích dřevin. Štěpka je strojně nakrácená a nadrcená dřevní hmota o délce od 3 do 250 mm a šířce od 5 do 30 mm. Jedná se levné biopalivo určené pro vytápění větších budov. Podle kvality a druhů příměsí můžeme štěpku dělit na štěpku zelenou, hnědou a bílou. [7] [10]

Zelená štěpka

Štěpka získána po lesní těžbě. Lze v ní najít částice drobných větví, listů, případně jehličí – proto zelená štěpka. Zpracovává se jako čerstvá hmota, proto její vlhkost je vysoká. [10]



Obrázek 4 Zelená štěpka [11]

Hnědá štěpka

Dřevní hmota, která je získávána z částí kmenů, pilařských odřezků apod. Sjednocujícím je obsah kůry, protože dříví nebylo před zpracováním odkorněno. [10]



Obrázek 5 Hnědá štěpka [12]

Bílá štěpka

Dřevní hmota pocházející z odkorněného dříví, obvykle z odřezků při pilařské výrobě. Na rozdíl od hnědé štěpky se zde nenachází kůra. Převážné využití je pro výrobu dřevotřískových desek. [10]



Obrázek 6 Bílá štěpka [12]

3.2 Fytomasa – bylinná biomasa

Jedná se o biomasu z rostlin, které mají nedřevěný stonek a po konci vegetačního období odumírají. Jedná se o [3]:

- zemědělské a zahradní byliny (obilniny, trávy, olejniny na semeno, kořeniny, luštěniny, květiny, bylinná biomasa z údržby krajiny)
- vedlejší produkty a zbytky (chemicky ošetřené a neošetřené zbytky)
- směsi a příměsi

Nejperspektivnější z této kategorie biomasy se jeví sláma (obilná, kukuřičná, slunečnicová). Největší výhodou jsou nízké výrobní náklady na jednu tunu, vysoká výhřevnost, cca $15\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Sláma se přepravuje ve formě balíků, nejčastěji jsou to balíky hranaté, ale objevují se i kulaté. U lisů na balíky se dá nastavit velikost požadovaného balíku. Zájemci musí investovat do spalovacího zařízení s příslušenstvím (zařízení na přípravu a dopravu slámy do kotle, potrubní připojení, rozvody tepla, regulační prvky). [3]

V regionu mého bydliště se nachází město Třebíč. Zde sídlí firma TTS, která vlastní dvě teplárny, kterými zajišťuje dodávku tepla obyvatelům. V jedné teplárně je spalována sláma, ve druhé je spalována hnědá štěpka. Firma TTS zároveň vyrábí a prodává kotle s příslušenstvím pro spalování biomasy.



Obrázek 7 Hranaté balíky slámy na poli [5]

4 Spalování biomasy

Nejčastějším způsobem přeměny biomasy na tepelnou nebo elektrickou energii je přímé spalování. Z 90 % je tímto způsobem získávána energie z biomasy, výhoda této technologie spočívá v jednoduchosti a komerční dostupnosti. Proto je tento způsob označován jako otevřená technologie. Moderní centrály jsou vybavovány řídicími systémy, které umožňují plně automatický provoz, minimalizují lidskou obsluhu, zaručují stabilní provoz a co je hlavní, po celou dobu provozu zaručují nižší emise. [6]

V dnešní době se spalují i méně obvyklá paliva, zvyšováním účinnosti spalování, snižování nákladů a snižování emisí vede k neustálému zdokonalování těchto technologií. K tomu je potřeba znát detailněji vlastnosti těchto paliv. [6]

Spalování biomasy v kotlích lze rozdělit na:

- spalování v pevném loži (roštové ohniště)
- spalování ve fluidním loži (fluidní ohniště)
- spalování prachu (práškové ohniště)

4.1 Složení paliva

Všechna tuhá paliva se skládají z hořlaviny h , popela A a vody w . [7]

Rovnice 2 Složení paliva [7]

$$h + A + w = 1 \quad [\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Tabulka 1 Hrubý rozbor biomasy [8]

přimísená voda	surová biomasa		
	voda w	popelovina A	hořlavina h
přítež (balast)		prchavý podíl	
		tuhý podíl	
sušina			
spálením vznikne:			
vodní pára		tuhý zbytek	spaliny

Hořlavinu tvoří část paliva, která vlivem oxidace uvolňuje teplo, tj. chemicky vázána energie v palivu. Jedná se o tyto prvky: uhlík, vodík a síra. Síra je v palivu nežádoucí, protože zvyšuje obsah SO_2 ve spalínách, dále zvyšuje rosný bod a také způsobuje snížení charakteristických teplot popele. Část hořlaviny, která se uvolňuje hned na začátku spalování, je takzvaná prchavá hořlavina. Ta napomáhá k vznícování paliva v ohništi a stabilizuje spalovací proces. [7] [8]

Popelovinu v palivu tvoří křemičitany, uhličitany, sírany a další. Jsou obsaženy v tuhém palivu před jeho spálením. Spálením vzniká z popeloviny tuhý zbytek, kterému říkáme popel. Velmi důležité pro provoz kotlů jsou charakteristiky teploty popele. Tyto charakteristiky nám určují chování popele za určitých teplot. Jedná se o teplotu měknutí (t_a), tavení (t_b) a tečení (t_c). Určování těchto teplot je dáno normou ISO 540. [8]

Tabulka 2 Obsah popele, prchavé a neprchavé hořlaviny v sušině různých druhů biomasy [7]

Palivo		Složky v suché hmotě [% _{hmot}]		
Skupina	Druh	popel	prchavá hořlavina	neprchavá hořlavina
Dřevo (odpadní)	Akát	0,98	82,4	16,6
Dřevo (odpadní)	Borovice	0,46	83,0	16,5
Dřevo (odpadní)	Bříza	2,34	81,3	16,4
Dřevo (odpadní)	Buk	0,51	83,3	16,2
Dřevo (odpadní)	Smrk	0,53	83,2	16,3
Dřevo (záměrně pěstováno)	Topol	1,82	80,5	17,7
Dřevo (záměrně pěstováno)	Vrba	1,67	80,6	17,7
Stébelnina (odpadní)	Kukuřice	15,1	67,5	17,4
Stébelnina (odpadní)	Len	5,9	76,2	17,9
Stébelnina (odpadní)	Pšenice	5,06	76,3	18,6
Stébelnina (odpadní)	Řepka	6,07	75,1	18,9
Stébelnina (záměrně pěstováno)	Šťovík	4,55	73,4	22,0

Voda v palivu snižuje výhřevnost, odchází se spalinami ve formě vodní páry a zvětšuje tak objem spalin. Vlivem poklesu spalin pod hranici rosného bodu urychluje korozi kotle a tím snižuje jeho životnost. [8]

4.1.1 Spalné teplo paliva

Je celkové množství tepla na jednotku daného paliva, které vznikne dokonalým spálením absolutně suchého paliva v kyslíkovém kalorimetru a ochlazení spalin na výchozí teplotu. Běžně se používají následující teploty: [18]

$$\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1} = \text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1} = \text{GJ} \cdot \text{t}^{-1}$$

4.1.2 Výhřevnost paliva

Celkové množství tepla na jednotku daného paliva s daným obsahem vody po úplném spálení při atmosférickém tlaku 0,1 MPa. Jestliže ve vzorku při spálení odpařená voda zůstane, pak odchází se spalinami ve formě páry. Běžně se používají jednotky $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ nebo $\text{GJ} \cdot \text{t}^{-1}$. Výhřevnost se dá také určit výpočtem ze spalného tepla. [18]

Tabulka 3. Výhřevnost jednotlivých druhů dřeva [16] [17]

Druh paliva	Obsah vody	Výhřevnost
	[%]	[MJ/kg]
Dřevo obecně	20	14,230
Listnaté dřevo	15	14,605
Listnaté dřevo	50	7,585
Jehličnaté dřevo	15	15,584
Jehličnaté dřevo	50	8,161
Dřevní štěpka	10	16,4
Dřevní štěpka	20	14,28
Dřevní štěpka	30	12,18
Dřevní štěpka	40	10,1

4.2 Chemické složení biomasy

Z chemického hlediska u rostlinné biomasy je nejvíce zastoupen uhlík C, vodík H a kyslík O. Oxidací uhlíku a vodíku dochází k uvolňování tepelné energie. [7]

Mimo základních prvků se v biomase nachází i síra S, chlór Cl a dusík N, tyto prvky však mají značný vliv na produkci škodlivých látek. Zastoupení těchto prvků závisí zejména na druhu biomasy, na půdě a také na hnojení. Orientační složení jednotlivých skupin biomasy nalezneme v tabulce 1. [7]

Tabulka 4 Obsah chemických prvků v sušině různých druhů biomasy[6]

Palivo		Složky paliva v suché hmotě [%]					
Skupina	Druh	C	H	O	N	Cl	S
Dřevo (odpadní)	Akát	47,9	6,09	44,6	0,43	<0,01	0,02
Dřevo (odpadní)	Borovice	49,4	6,44	43,5	0,15	<0,01	0,01
Dřevo (odpadní)	Bříza	48,0	6,14	43,3	0,25	<0,01	0,02
Dřevo (odpadní)	Buk	48,6	6,26	44,5	0,13	<0,01	0,01
Dřevo (odpadní)	Smrk	50,1	6,13	43,1	0,12	<0,01	0,01
Dřevo (záměrně pěstováno)	Topol	49,4	6,01	42,5	0,28	<0,01	0,04
Dřevo (záměrně pěstováno)	Vrba	49,6	5,93	42,5	0,33	<0,01	0,02
Stébelnina (odpadní)	Kukuřice	40,2	5,52	37,9	1,01	0,26	0,07
Stébelnina (odpadní)	Len	47,4	5,91	40,4	0,44	0,01	0,03
Stébelnina (odpadní)	Pšenice	46,0	5,97	42,3	0,59	0,08	0,08
Stébelnina (odpadní)	Řepka	45,2	5,81	41,9	0,63	0,3	0,38
Stébelnina (záměrně pěstováno)	Šťovík	47,0	5,77	41,3	1,15	0,02	0,1

4.3 Problematika spalování biomasy

Největším problémem při spalování slámy nebo hnědé štěpky je spékání biomasového popele, což vede k zapékání roštu hořáků a rovněž ke vzniku skelných nebo skelně krystalických vrstev v plamencové části kotlového výměníku tepla. Spékání je zapříčiněno chemickým složením popele, který vytváří nízko tající eutektika. Obsluha zařízení pak musí tyto nápeky mechanicky odstraňovat. [9]



Obrázek 8 Skelné a skleněné krystalické vrstvy vzniklé při spalování slámy [9]

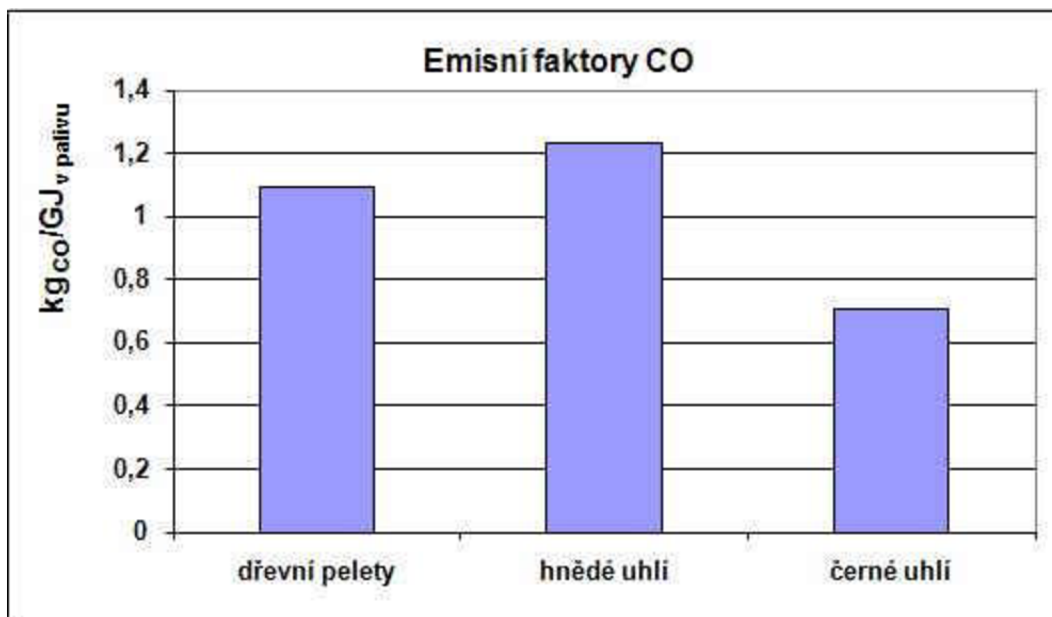
Provozní zkoušky v centrální výtopně společnosti Žlutické teplárny prokázaly velmi příznivé účinky aditiva s vysokou koncentrací CaO. Po přidání tohoto aditiva byly odstraněny problémy se spékající se slámou i hnědou štěpkou. Další možností je upravit či odstranit vyzdívku ohniště, cílem této korekce je snížit teploty v komoře. [9]

4.4 Emise při spalování biomasy

Jak již bylo řečeno výše, biomasa je z hlediska emisí oxidu uhličitého neutrální, protože vyprodukované množství je srovnatelné se spotřebou růstu rostliny. Tohle je ovšem jen zjednodušený pohled. Navíc při spalování biomasy dochází ke tvorbě dalších škodlivin, například velmi nebezpečné polyaromatické uhlovodíky, případně dioxiny. Měřením bylo ale dokázáno, že množství škodlivin se mění především způsobem spalováním. [13]

4.4.1 Emisní faktory CO

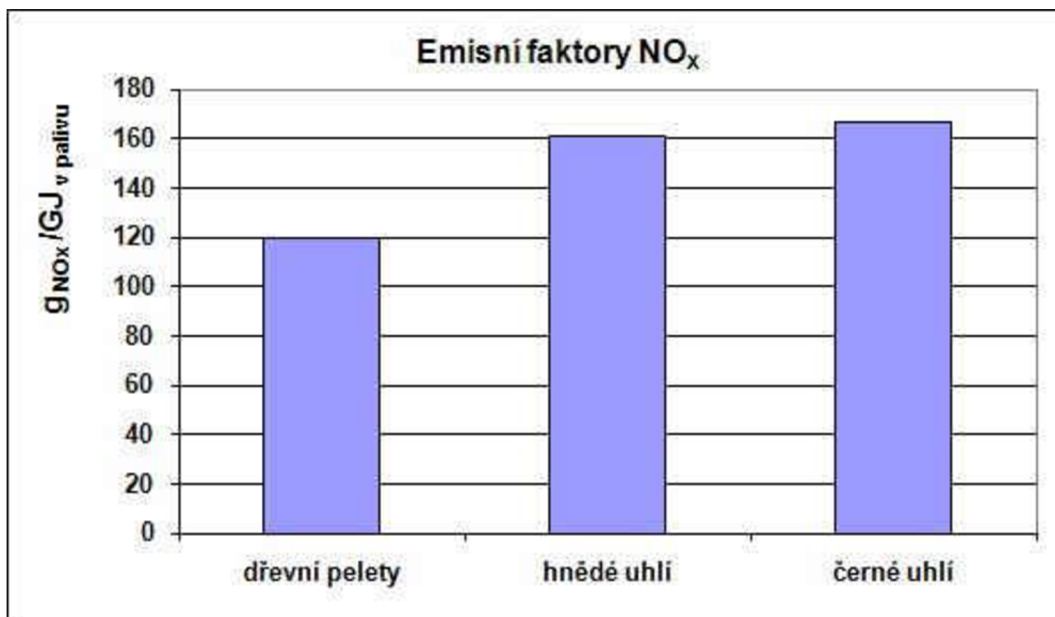
Koncentrace CO ve spalinách nám nejlépe poukazuje na kvalitu spalovacího procesu. Nedohořený CO představuje ukazatel o špatně nastavených spalovacích podmínkách (množství vzduchu apod.) nebo nevhodné konstrukci spalovacího zařízení. Tyto konstrukce se mění podle druhu spalovaného paliva. Podle dat z experimentu, které můžeme vidět na grafu 1, kupodivu nejlépe vychází černé uhlí. Biomasa se řadí před hnědé uhlí. Hodnoty se ale mohou měnit v důsledku použitých technologií. [13]



Graf 1 Emisní faktory CO přepočtené na výhřevnost paliva [14]

4.4.2 Emisní faktory NO_x

Největší podíl na emisích NO_x má obsah dusíku v palivu a také teplota ve spalovací komoře. Vysoká teplota (nad 1000 °C) způsobuje vznik tzv. termických NO_x. U ohnišť s malým výkonem termické NO_x nevznikají a hlavní podíl má obsah dusíku v palivu. Podle dat z experimentu (graf 2) prováděných na malých kotlích bylo dosaženo nejmenších hodnot u dřevních pelet. Tento výsledek je způsoben menším obsahem dusíku v palivu, ale také tím, že u spalování uhlí dosahuje vyšších teplot a tím vznikají termické NO_x. [13]



Graf 2 Emisní faktory NO_x přepočtené na výhřevnost paliva [15]

5 Vliv klimatických podmínek na degradaci biomasy

Doporučená doba spotřebování štěpky je do patnácti dnů od výroby. Maximální doba skladování je tři měsíce, jelikož rozklad je zpočátku pozvolnější. Objemové ztráty za první měsíc jsou do 3 %. V dalších měsících se stupňuje působení mikroorganismů a hub. Z tohoto důvodu se objem zmenšuje průměrně 5,5 % za měsíc v období druhém až pátém měsíci skladování. Závislost měrné vlhkosti při skladování čerstvé štěpky z tvrdých listnáčů na typu uskladnění najdeme v tabulce 4. [1]

Pokud je obsah vody ve štěpce větší než 25 až 30 %, tak po určité době (v závislosti na teplotě) štěpka začíná degradovat a plesnivět. Ve skladech vlhké štěpky v Norsku a Finsku bylo zjištěno až deset tisíc plísní a hub v 1 m³ vzduchu. Ve Švédsku považují za nepříznivé už 500 zárodků v 1 m³ vzduchu. Takový vzduch je nepříznivý pro lidský organismus, ohrožuje plíce lidí (příznaky jako zápal plic). Z těchto důvodů se skládky neumísťují v obytné zástavbě. Kritické období nastává po třech až čtyřech měsících skladování. Štěpka z listnáčů je méně odolná než štěpka z jehličnanů. [1]

Tabulka 5 Změny absolutní vlhkosti při skládkování čerstvé štěpky z tvrdých listnáčů [1]

Měsíc	Typ skládkování			
	otevřená	otevřená s podlahou	zakrytá	zakrytá s podlahou
	Absolutní vlhkost [%]			
0 (prosinec)	85	82	70	78
1 (leden)	95	81	58	55
2 (únor)	101	83	54	45
3 (březen)	108	79	52	35
4 (duben)	101	66	46	28
5 (květen)	84	37	39	20
6 (červen)	84	35	33	17
7 (červenec)	68	29	30	17
8 (srpen)	62	39	20	17
9 (září)	-	-	27	17

Nejlepší relativní vlhkost štěpky pro spalování je 30 až 35 % pro zařízení vybavené stupňovitým roštem. Pokud jsou štěpky až moc suché, má proces explozivní charakter a velká část tepelné energie, kterou bychom mohli zužitkovat, nám odchází prostřednictvím spalin do atmosféry. [1]

Pokud máme relativní vlhkost štěpek 50 až 60 %, je spalování těžší a účinnost ohniště nám klesá. Štěpky s touto vlhkostí jsou nevhodné pro energetické využití a musí se před vložením do kotle sušit. Pokud je relativní vlhkost štěpek 60 až 70 %, výhřevnost je tak mizivá, že nestačí ani na udržení spalovacího procesu. [1]

6 Postup měření

Na začátku každého měření byl proveden odběr vzorku biomasy. Dřevní hmota byla vystavena okolním klimatickým podmínkám. Typ skladování byl otevřený s betonovou podlahou v areálu FSI za budovou D5. Jak můžeme vidět na obrázku 8, experimentální měření bylo prováděno na třech druzích biomasy. Bílé piliny byly z jehličnatých stromů, štěpka z listnatých stromů a tmavé piliny byly z dubového dříví.



Obrázek 9 Skládka biomasy

Odběr vzorku byl prováděn ráno, poté byl umístěn na jednotlivé laboratorní misky a odváženo přesné množství dřevní hmoty. Následně byly misky se vzorky vloženy na síta do laboratorní sušárny Venticell. Sušárna Venticell je teplotní skříň určená pro laboratoře, dochází v ní k temperování různých druhů materiálu pomocí horkého vzduchu. Skříň je vybavena vzduchovou klapkou, která umožňuje vysoušení vlhkého materiálu.



Obrázek 10 Sušárna Venticell

Sušárna byla nastavena na teplotu vysoušení, která se pohybovala v rozmezí 105 – 110 °C. Vysoušení se lišilo podle vlhkosti vzorku od 5 až do 6 hodin. Poté byly vzorky přemístěny do exikátoru, kde 30 minut chladly. Po vychladnutí bylo odváženo množství biomasy a podle vzorce 3 dopočítáno, jaké bylo množství vlhkosti v odebraném vzorku.

Rovnice 3 Množství vlhkosti ve vzorku

$$W = \frac{m_1}{m} \times 100$$

m_1 - úbytek hmotnosti při sušení navážky

m - hmotnost navážky vzorku paliva



Obrázek 11 Exikátor

Po zjištění vlhkosti v palivu následovalo měření spalného tepla ve vzorku. Dříve než se palivo umístilo do kalorimetru, byla z něj vytvořena peletka o váze cca 1 gram.



Obrázek 12 Peletka o váze 1 gram

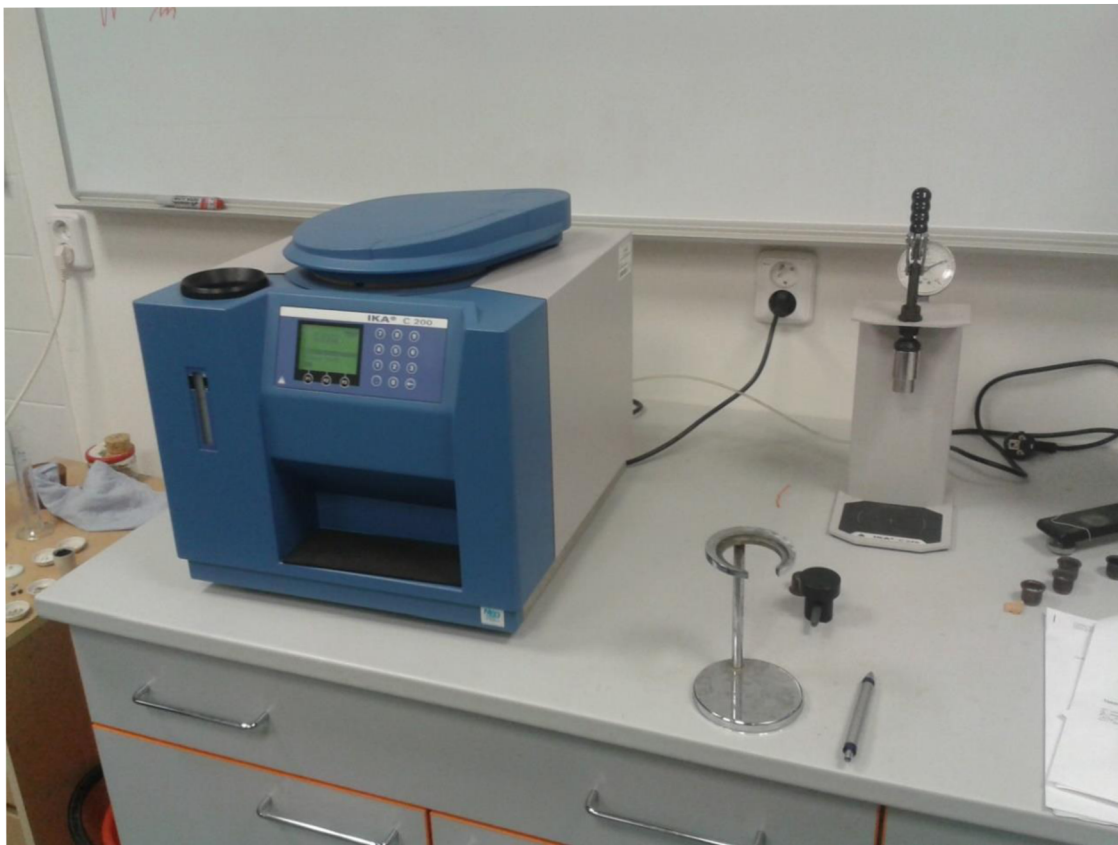
Dřevěná štěpka byla rozemleta na jemný prach a z ní byla vytvořena peletka, která se umístila do nerezového kelímku. Tento kelímek byl vsazen do držáku a pomocí pinzety uvázáno bavlněné vlákno na žhavicí drát. Vlákno bylo umístěno tak, aby se dotýkalo paliva, tím bylo zajištěno dokonalé spálení vzorku. Do rozkladné nádoby bylo nalito 20ml vody o teplotě 20 °C. Držák se vzorkem byl vsazen do rozkladné nádoby a uzavřen maticí, která byla lehce dotažena. Poté byla nádoba naplněna kyslíkem o tlaku 30bar.



Obrázek 13 Naplňování rozkladné nádoby kyslíkem

Na rozkladnou nádobu byl nasazen zapalovací aparát a následovalo vložení do kalorimetru. Spalné teplo bylo měřeno na Kalorimetru C 200. Kalorimetr C 200 je určen ke stanovení spalného tepla u tuhých i kapalných látek. Spalování probíhalo v kalorimetru za daných podmínek.

Pomocí klávesnice byla zadána váha peletky s přesností na 0,0001 g. Do nálevkového otvoru na kalorimetru byla nalita voda o teplotě 20 °C až po označení hladiny. Uzavřením horního krytu se automaticky spustilo měření. Toto měření trvalo přibližně 8 minut. Po ukončení měření se hodnota spalného tepla zobrazila na displeji. Poté byla vyndána rozkladná nádoba, uvolněna matice a zkontrolováno, zda je vzorek dokonale spálen. Pokud nedošlo k dokonalému spálení, výsledek měření byl neplatný a musel se opakovat.



Obrázek 14 Kalorimetr C200

Měřeními se získaly hodnoty spalného tepla, pro zjištění výhřevnosti paliva by se použil přepočít podle rovnice 4.

Rovnice 4 Výhřevnost paliva

$$Q_i^r = Q_s - r(W^r + 8,94H_2)$$

Q_i^r - výhřevnost [MJ/kg]

Q_s - spalné teplo [MJ/kg]

W^r - obsah vody v palivu [-]

r - výparné teplo vody [kJ/kg]

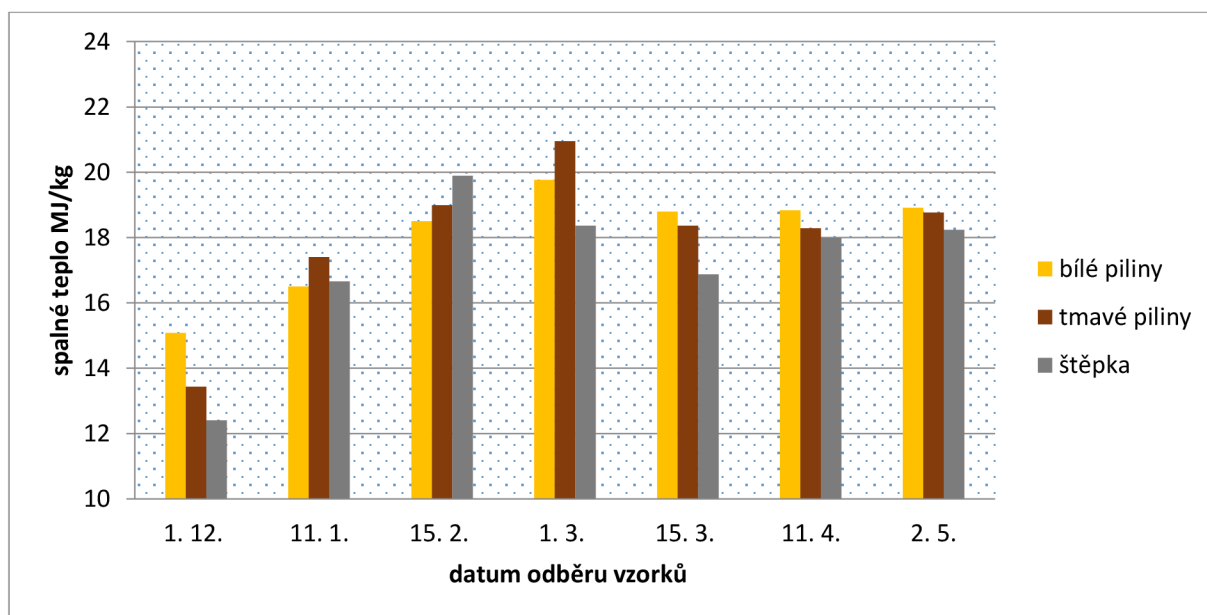
H_2 - obsah vodíku v surovém palivu

6.1 Výsledky měření

Měření bylo prováděno na dokonale vysušeném vzorku, opakovalo se pro jednotlivé vzorky třikrát. Pro zmenšení chyby měření byly vzorky odebírány z různých částí skládky. První tři měsíce bylo měření opakováno zhruba po měsíci. Po této době bylo v očekávání klesání spalného tepla vlivem degradace, proto další měření bylo uskutečněno po čtrnácti dnech. Spalné teplo ale nadále rostlo. Následné měření po dalších dvou týdnech již ukázalo degradaci a pokles spalného tepla. Další zkušební odběr byl proveden opět po čtrnácti dnech, zde ale nenastala žádná změna, a proto měření bylo ukončeno. Byl uskutečněn odhad, že to je velmi krátká doba a následovalo měření až po měsíci od prvního náznaku degradace. Toto měření však potvrdilo předchozí a spalné teplo nijak významně nekleslo. V případě štěpky dokonce začalo růst. Při posledním měření se ukázalo, že degradace dále nepokračuje a spíše se palivo vysouší. Naměřené hodnoty nalezneme v tabulce 6. a také v grafu číslo 3.

Tabulka 6 Spalné teplo v MJ/kg za měřené období

	1. 12.	11. 1.	15. 2.	1. 3.	15. 3.	11. 4.	2. 5.
bílé piliny	15,084	16,504	18,503	19,760	18,798	18,828	18,908
tmavé piliny	13,432	17,399	18,990	20,946	18,360	18,286	18,767
štěpka	12,411	16,659	19,888	18,360	16,871	17,990	18,231



Graf 3 Naměřené hodnoty spalného tepla za měřený úsek

Jak můžeme vidět v grafu 3, nejmenší hodnoty spalného tepla byly naměřeny v prvním období. Příčinou těchto nízkých hodnot byla krátká doba vysoušení, takže vzorek nebyl dokonale suchý. Z těchto chyb jsme se pro další měření poučili a vzorky byly nechávány k delšímu vysušení.

Další příčinou špatného měření v prvním období byl kalorimetr, který opakovaně hlásil, že víko během měření bylo otevřené. Toto hlášení mělo za následek vypuštění vody z kalorimetru a muselo se měření opakovat. Pokud hlášení nastalo po zahoření paliva, byl experiment kompletně opakován. Chyba nastala i několikrát po sobě. A proto měření v palivové laboratoři trvalo místo očekávaných dvou hodin osm hodin. Problémy s kalorimetrem byly nahlášený vedoucímu práce a ten objednal servis přístroje. Servis kalorimetru však nastal až po čtvrtém měření.

V postupu práce bylo uváděno, že jsme měřili i vlhkost paliva. Toto měření bylo ukončeno po druhém měření z důvodu neprokazatelnosti výsledků. Hodnota vlhkosti paliva velice závisela na aktuálním počasí. Tyto hodnoty nevyovídaly o vlhkosti paliva, ale spíše o počasí v den odběru vzorku.

ZÁVĚR

V České republice máme mimo několika elektráren také menší objekty, které jsou vytápěny biomasou. Z tohoto důvodu je důležité řešit správné skládkování biomasy. Po delší době skládkování může biomasa podléhat degradaci.

Cílem práce bylo provést rešerši vlastností biomasy jako paliva a řešit problematiku při spalování biomasy. Na základě rešerše byl proveden experiment.

Při experimentu se vycházelo z informací, které byly získány z doporučené literatury *Biomasa ako zdroj energie*. Tato publikace obsahuje experiment, který byl proveden na štěpce z tvrdých listnatých stromů. Nižší hodnoty spalného tepla byly podle literatury očekávány po třech měsících skládkování. Při měření byl očekáván podobný průběh jako při experimentu z doporučené literatury. Očekávaný pokles však nastal po delší době, než bylo uvedeno. Na hodnotách spalného tepla se projevíly minimální rozdíly. Dále bylo očekáváno, že spalné teplo biomasy bude nadále klesat, avšak po dobu dalších dvou měsíců stagnovalo. V některých případech dokonce i narostlo.

Možných příčin rozdílných výsledků může být hned několik. První příčina mohla nastat tím, že námi provedená skládka byla malá a nedošlo tak k dostatečnému zapaření a následnému vzniku hub a plísní. Další příčina mohla nastat při odběru vzorku. Sice byly měřeny pokaždé tři vzorky odebrané z různých míst skládky, ale mohlo dojít k chybě lidského faktoru. Dále pak možnou příčinou může být nehomogenita štěpky při jejím drcení. Měření bylo prováděno v období zimních měsíců a jistě i tento faktor měl na degradaci vliv. Jak již bylo řečeno v kapitole výsledky měření, nastaly problémy s kalorimetrem, kterým bylo opakovaně hlášeno otevření víka. Po opravení vadného čidla probíhalo již měření v pořádku.

Doporučením pro prokazatelnější měření bych navrhoval větší skládku k vytvoření příznivějšího klimatu pro plísně a houby. Zároveň také delší dobu skládkování, která by zahrnovala všechna roční období.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] JANDAČKA, Jozef, Milan MALCHO a Marián MIKULÍK. *Biomasa ako zdroj energie, potenciál, druhy, bilancia a vlastnosti paliv*. První. Žilina: Juraj Štefuň - GEORG, 2008. ISBN 978-80- 969161-3-9.
- [2] NÁTR, Lubomír. *Vliv CO2 na rostliny: Fotosyntéza* [online]. 2007, [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://kfrserver.natur.cuni.cz/globe/others-CZ.htm>
- [3] TRÁVNÍČEK et kol. *Technologie zpracování biomasy za účelem energetického využití*. První. Brno: ASTRON studio CZ, 2015. ISBN 978-80-7509-206.
- [4] STUPAVSKÝ, Vladimír. *O vytápění biomasou od A až do Z* [online]. 2012 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/peletky/8814-o-vytapeni-biomasou-od-a-az-do-z>
- [5] *Wikimedia Commons* [online]. 2015 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Halmballer_og_potetl%C3%B8e_p%C3%A5_Toten.JPG
- [6] SKÁLA, Zdeněk a Tadeáš OCHODEK. *Energetické parametry biomasy*. První. Brno: Tribun EU, 2007. ISBN 978-80-214-3493-6.
- [7] JANDAČKA, Jozef a Milan MALCHO. *Biomasa ako zdroj energie*. První. Žilina: Juraj Štefuň - GEORG, 2007. ISBN 978-80-969161-4-6.
- [8] LISÝ, Martin, Marek BALÁŠ a Jiří MOSKALÍK. *Kotle – 1. část* [online]. 2012 [cit. 2016-02-14]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/8382-kotle-1-cast>
- [9] MÍKA, Martin, Pavlína VOLÁKOVÁ, Břetislav KLÁPŠTĚ, Ondřej JANKOVSKÝ a Vladimír VERNER. *Jak potlačit spékání biomasového popela?* [online]. [cit. 2016-03-21]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/jak-potlacit-spekani-biomasoveho-popela>
- [10] STUPAVSKÝ, Vladimír a Tomáš HOLÝ. *Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá* [online]. [cit. 2016-04-04]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>

- [11] *B energy* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.aaapoptavka.cz/dodavatele/4-drevo-nabytek-a-papir/257-palivove-drevo/273622-b-energy-s-r-o/14155-zelena-stepka-lesni.html>
- [12] *B energy* [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.benergy.cz/prodej-stepky#lightbox>
- [13] KOLONIČNÝ, Jan. Emise při spalování biomasy. *Biom.cz* [online]. [cit. 2016-04-13]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy-2>
- [14] *Biom.cz* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/obrazek/emisni-factory-co-prepocetene-na-vyhrevnost-paliva>
- [15] *Biom.cz* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/obrazek/emisni-factory-nox-prepocetene-na-vyhrevnost-paliva>
- [16] NOVÁK, Jan. Výhřevnosti a měrné jednotky palivového dřeva. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/12-vyhrevnosti-a-merne-jednotky-palivoveho-dreva>
- [17] Výhřevnost dřeva. *Drevorubec* [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.drevorubec.cz/prodej-dreva/vyhrevnost-dreva>
- [18] ANDERT, David, Václav SLADKÝ a Zdeněk ABRAHAM. *Energetické využití pevné biomasy*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2006. ISBN 80-86884-19-8

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

h	hořlavina
A	popelovina
W	voda
m_1	úbytek hmotnosti při sušení navážky
m	hmotnost navážky vzorku paliva
Q_i^r	výhřevnost
Q_s	spalné teplo
W^r	obsah vody v palivu
r	výparné teplo vody
H_2	obsah vodíku v surovém palivu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schématický průběh fotosyntézy [2].....	16
Obrázek 2 Zdroje vzniku biomasy [3].....	17
Obrázek 3 Zbytková kulatina [4].....	18
Obrázek 4 Zelená štěpka [11].....	19
Obrázek 5 Hnědá štěpka [12]	19
Obrázek 6 Bílá štěpka [12].....	20
Obrázek 7 Hranaté balíky slámy na poli [5].....	21
Obrázek 8 Skelné a skleněné krystalické vrstvy vzniklé při spalování slámy [9].....	25
Obrázek 9 Skládka biomasy	29
Obrázek 10 Sušárna Venticell	30
Obrázek 11 Exikátor.....	31
Obrázek 12 Peletka o váze 1 gram	31
Obrázek 13 Naplňování rozkladné nádoby kyslíkem.....	32
Obrázek 14 Kalorimetr C200	33

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Hrubý rozbor biomasy [8]	22
Tabulka 2 Obsah popele, prchavé a neprchavé hořlaviny v sušině různých druhů biomasy ...	22
Tabulka 3. Výhřevnost jednotlivých druhů dřeva [16] [17].....	23
Tabulka 4 Obsah chemických prvků v sušině různých druhů biomasy[6].....	24
Tabulka 5 Změny absolutní vlhkosti při skládkování čerstvé štěpky z tvrdých listnáčů [1]....	28
Tabulka 6 Spalné teplo v MJ/kg za měřené období.....	34

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Emisní faktory CO přepočtené na výhřevnost paliva [14].....	26
Graf 2 Emisní faktory NOx přepočtené na výhřevnost paliva [15].....	27
Graf 3 Naměřené hodnoty spalného tepla za měřený úsek	34

SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1 Fotosyntéza z chemického hlediska [1].....	16
Rovnice 2 Složení paliva [7].....	22
Rovnice 3 Množství vlhkosti ve vzorku	30
Rovnice 4 Výhřevnost paliva.....	33