

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta tropického zemědělství

Katedra udržitelných technologií



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta tropického
zemědělství

Zpracování rostlinné biomasy briketováním

Bakalářská práce

Praha 2014

Vedoucí bakalářské práce:
Ing. Bc. Tatiana Ivanova, Ph.D.

Vypracoval:
Přemysl Hlatký

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra udržitelných technologií

Fakulta tropického zemědělství

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Hlatký Přemysl

Zemědělství tropů a subtropů

Název práce

Zpracování rostlinné biomasy briketováním

Anglický název

Processing of plant biomass by briquetting

Cíle práce

Popis briket a briketovacích technologií s ohledem na kvalitu briket a jejich standardizaci. Cílem praktické části byla analýza vlivu průměru válce briketovacího lisu a velikosti vstupní frakce materiálu na mechanickou odolnost a hustotu briket vyrobených z ozdobnice čínské.

Metodika

1. Studium odborné literatury a vědeckých článků
2. Vpracování literární rešerše dle vytříděných informací
3. Příprava materiálu pro výzkum - nadrcení biomasy dvou odrůd ozdobnice čínské (*M. sinensis* a *M. x giganteus*) do různých velikostí frakcí
4. Výroba briket z připraveného materiálu na briketovacích lisech s odlišným průměrem válců
5. Stanovení mechanické odolnosti a hustoty vyrobených briket
6. Zpracování a vyhodnocení výsledků výzkumu

Harmonogram zpracování

1. Sběr literatury (leden 2012 - srpen 2012)
2. Podrobné studium literatury, postupné sepsání literární rešerše a průběžné konzultace práce se školitelem (září 2012 - září 2013)
3. Realizace experimentální práce - příprava materiálu, výroba briket a stanovení mechanických vlastností vyrobených briket (říjen 2013 - listopad 2013)
4. Analýza experimentálních dat (prosinec 2013 - leden 2014)
5. Sepsání výsledků práce, závěrů a provedení finálních úprav (únor - březen 2014)
6. Odevzdání bakalářské práce (duben 2014)

Rozsah textové části

cca 45 stran

Klíčová slova

Biomasa, brikety, standardizace, kvalita, energetické využití, ozdobnice čínská, vlhkost, mechanická odolnost, hustota

Doporučené zdroje informací

Baláš M, Moskalík J. 2009. Měření vlhkosti paliv: Příspěvek ze sborníku příspěvků Energie z biomasy X. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, VUT v Brně. p9-15.

Benda V, Doležalová H, Dušička P, Hanslian D, Jevič P, Matuška T, Myslíl V, Postorek Z, Stupavský V, Šejvl R, Šrefl R, Šulek P. 2012. Obnovitelné zdroje energie: 1. vydání. Praha: Vydavatelství odborného tisku Profi Press s.r.o. 208p.

Havrland B, Pobedinschi V, Vrancean V, Pecen J, Ivanova T, Muntean A, Kandakov A. 2011. Biomass processing to biofuel. Praha: powerprint, 86p.

Matuš M, Křižan P, Kováčová M. 2009. Analýza konstrukčních parametrů vplývající na výslednou kvalitu výlisku: Příspěvek ze sborníku příspěvků Energie z biomasy IX. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, VUT v Brně. p67-74.

Murphy F, Devlin G, McDonnell K. 2013. Miscanthus production and processing in Ireland: An analysis of energy requirements and environmental impacts: Biosystems Engineering Department. Dublin: University College. p412-420.

Available at:
<http://www.sciencedirect.com/infodroze.czu.cz/science/article/pii/S1364032113001068>.

Thomson B, Marc JC. 2012. The Impact of Climate Changes and Biodiversity on Nutrition. Published by FAO and Springer Science+Business Media BV. 120p.



Vedoucí práce

Ivanova Tatiana, Ing., Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 30.3.2014

doc. Ing. Jan Banout, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30.3.2014

doc. Ing. Jan Banout, Ph.D.

Děkan fakulty

Prohlášení

Tímto čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma ZPRACOVÁNÍ ROSTLINNÉ BIOMASY BRIKETOVÁNÍM vypracoval samostatně. Použité prameny a podkladové materiály řádně uvádím v seznamu literatury. Získané informace jsem doplnil o údaje, jež vyplynuly z vlastního výzkumu. Souhlasím s uložením této bakalářské práce na Studijním a informačním centru a s porovnáním textu s databází kvalifikačních prací.

V Praze dne 14.dubna 2014

.....
Přemysl Hlatký

Poděkování

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Bc. Tatianě Ivanové, Ph.D. za odbornou pomoc a poskytnutí cenných rad při zpracování této bakalářské práce, za její profesní přístup a za čas, který mi věnovala. Dále bych rád poděkoval vyučujícím České zemědělské univerzity v Praze za jejich odbornou přípravu, za podporu, ochotu a za to, že mi zajistili technické zázemí v laboratoři biopaliv FTZ ČZU potřebné k vypracování praktické části této bakalářské práce, své rodině a blízkým za podporu a trpělivost.

Abstrakt

Tato bakalářská práce ve své literární části byla zaměřena na shrnutí poznatků o legislativní podpoře OZE, biomase pro energetické účely, ozdobnici čínské, technologiích zpracování a briketování rostlinné biomasy, standardizaci briket a jejich mechanické kvalitě. V práci byl popsán pohled na biomasu, která je považována za levný a poměrně dostupný OZE a za jeden z hlavních hybných pilířů potřebných k zastavení skleníkového efektu, jenž přispívá ke globálnímu oteplování. Přestože brikety z rostlinné biomasy mají nižší fyzikálně - mechanické parametry a výhřevnost než brikety ze dřeva, představují perspektivní a nízkoenergetické řešení, především v odvětví vytápění budov. Za účelem stanovení kvality briket byla zpracována praktická část formou pokusu. Cílem praktické části bylo vyhodnocení vlivu velikosti vstupní frakce biomasy a průměru válce lisu na mechanickou odolnost a hustotu briket, vyrobených z perspektivní energetické plodiny ozdobnice čínské. Celkem byly zkoumány a porovnány dvě odrůdy ozdobnice a to *Miscanthus sinensis* a *Miscanthus x giganteus*. Pro stanovení základních mechanických parametrů briket byl proveden sběr biomasy, dále pak nadrcení materiálu do tří různých velikostí frakce (3,8; 8 a 12 mm), stanovení vlhkosti, briketování vzniklého materiálu na dvou lisech se dvěma různými průměry válce (50 a 65 mm), stanovení mechanické odolnosti a hustoty briket. Hustota briket byla určena z naměřených hodnot délek, průměrů a hmotností briket. Stanovení mechanické odolnosti bylo provedeno v souladu s technickou normou. Celkem bylo zohledněno 881 vzorků briket, u kterých bylo naměřeno 5286 hodnot délek, průměrů a hmotností. Porovnáním výsledků bylo zjištěno, že vyšších hodnot mechanické odolnosti bylo dosaženo u vzorků z ozdobnice o velikosti frakce 8 a 12 mm a s průměrem válce lisu 65 mm. Vyšších hodnot hustoty bylo dosaženo u vzorků z ozdobnice o velikosti frakce 3,8 mm a s průměrem válce lisu 50 mm. Lepší mechanické parametry byly zjištěny u briket z *M. x giganteus*.

Klíčová slova

Biomasa, standardizace, kvalita briket, ozdobnice čínská, mechanická odolnost, hustota

Abstract

This Bachelor Thesis in its literary part is focused on summarization of knowledge about legislative support of renewable energy sources, biomass for energy purposes, *Miscanthus*, technologies of biomass processing and briquetting, standardization of briquettes and its mechanical quality. An overall view on the biomass, which is considered to be relatively inexpensive and available renewable energy source and one of the most important pillars, which contributes to the mitigation of greenhouse effect is presented in the Thesis. Although the briquettes made of plant biomass have worse physical and mechanical parameters and lower calorific value than wood briquettes, these briquettes seen to be a very interesting and low energy solution, primarily for heating of buildings. The practical part in the form of experiment was done in order to determine the quality of briquettes. The main aim of the present work was to evaluate an influence of the input fraction size and diameter of the press cylinder on mechanical durability and density of the briquettes produced from perspective energy crop *Miscanthus*. Two varieties of *Miscanthus* - *Miscanthus sinensis* and *Miscanthus x giganteus* were investigated. For the determination of mechanical parameters of the briquettes the plant biomass was harvested, then the material was crushed into three fractions (3.8, 8 and 12 mm), moisture of biomass was determined and the material was further briquetted on two presses with two different diameters of the cylinder (50 and 65 mm), finally mechanical durability and density of the produced briquettes were measured. The density of the briquettes was determined by using precise measurement of lengths, diameters and by weighing the samples. Mechanical durability of briquettes was measured in accordance with technical standards. In total, 881 samples of *Miscanthus* briquettes were evaluated and 5286 values of lengths, diameters and weights of the briquettes were measured. Comparing the results, it was found that higher results of mechanical durability were achieved in *Miscanthus* briquette with a fraction size of 8 and 12 mm and a cylinder diameter of 65 mm. Higher density values had samples with a fraction size of 3.8 mm and a cylinder diameter of 50 mm. Better mechanical properties were detected in the briquettes made from *M. x giganteus*.

Key words

Biomass, standardization, briquettes quality, *Miscanthus*, mechanical durability, density

Obsah

Seznam tabulek a obrázků (a grafů)

Seznam zkratk použitých v práci

1	Úvod.....	1
2	Literární rešerše.....	3
2.1.	<i>Biomasa - obnovitelný zdroj energie.....</i>	<i>3</i>
2.1.1	<i>Legislativa vzhledem k OZE.....</i>	<i>4</i>
2.1.2	<i>Druhy biomasy.....</i>	<i>8</i>
2.1.3	<i>Ozdobnice čínská (Miscanthus sinensis a M. x giganteus).....</i>	<i>11</i>
2.2.	<i>Briketa a briketování.....</i>	<i>15</i>
2.2.1	<i>Charakteristika briket.....</i>	<i>15</i>
2.2.2	<i>Druhy briket.....</i>	<i>17</i>
2.2.3	<i>Sušení biomasy.....</i>	<i>20</i>
2.2.4	<i>Drcení biomasy.....</i>	<i>21</i>
2.2.5	<i>Briketovací technologie.....</i>	<i>21</i>
2.2.6	<i>Kvalita briket a standardizace.....</i>	<i>26</i>
3	Cíl práce.....	31
4	Materiál a metodika.....	32
4.1	<i>Sklizeň ozdobnice čínské.....</i>	<i>32</i>
4.2	<i>Drcení materiálu do tří velikostí frakce.....</i>	<i>32</i>
4.3	<i>Stanovení vlhkosti materiálu.....</i>	<i>33</i>
4.4	<i>Briketování materiálu na dvou lisech.....</i>	<i>34</i>
4.5	<i>Stanovení mechanické odolnosti briket.....</i>	<i>36</i>
4.6	<i>Stanovení hustoty briket.....</i>	<i>39</i>
5	Výsledky a diskuze.....	40
5.1	<i>Hodnocení vlhkosti testované biomasy.....</i>	<i>40</i>
5.2	<i>Analýza vlivu velikosti frakce nadrceného materiálu a průměru válce lisu na mechanickou odolnost briket.....</i>	<i>40</i>
5.3	<i>Analýza vlivu velikosti frakce nadrceného materiálu a průměru válce lisu na hustotu briket.....</i>	<i>43</i>
6	Závěr.....	46
7	Reference.....	47

Přílohy

Seznam tabulek a obrázků (a grafů)

Tab. 1: Výkupní ceny a roční zelené bonusy pro výrobu elektřiny z biomasy na rok 2014.....	5
Tab. 2: Technické parametry lisů Brikstar CS25 a Brikstar 30 - 12.....	35
Obr. 1: <i>M. x giganteus</i> a <i>Miscanthus sinensis</i> před sklizní.....	32
Obr. 2: Drtič Green Energy.....	33
Obr. 3: Nadrcený <i>Miscanthus</i> v násypce lisu.....	33
Obr. 4: Pec Memmert UFE 500 pro stanovení vlhkosti materiálu.....	34
Obr. 5: Váha Kern EMB 600-2.....	34
Obr. 6: Lis BrikStar CS25.....	35
Obr. 7: Lis BrikStar 30 - 12.....	35
Obr. 8: Měření délek, průměrů a vážení vzorků briket.....	37
Obr. 9: Dílčí vzorek briket po zvažení.....	37
Obr. 10: Buben pro stanovení DU.....	39
Obr. 11: Buben s dílčím vzorkem <i>Miscanthus</i>	39
Graf 1: Závislosti výhřevnosti biomasy na vlhkosti.....	29
Graf 2: Grafické zobrazení mechanické odolnosti vzorků ozdobnice <i>Miscanthus sinensis</i>	40
Graf 3: Grafické zobrazení mechanické odolnosti vzorků ozdobnice <i>M. x giganteus</i>	41
Graf 4: Grafické zobrazení hustoty před odrolem a po odrolu vzorků ozdobnice <i>Miscanthus sinensis</i>	43
Graf 5: Grafické zobrazení hustoty před odrolem a po odrolu vzorků ozdobnice <i>M. x giganteus</i>	44

Seznam zkratek použitých v práci

A – označení pro obsah popela (ash)

BD – označení pro sypkou hmotnost (bulk density)

ČSN – Česká soustava norem

ČR – Česká republika

ČZU – Česká zemědělská univerzita v Praze

D – označení pro průměr (diameter)

DT – označení pro teplotu deformace (deformation temperature)

DU – označení pro mechanickou odolnost (Mechanical durability)

DV – dílčí vzorek

EN – Evropský standard (European standard)

EPC – Evropský peletový koncil (European Pellet Council)

ERÚ – Energetický regulační úřad

EU – Evropská unie

FAO – Organizace pro výživu a zemědělství (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

FTZ – Fakulta tropického zemědělství

GCV – označení pro spalné teplo (The Gross Calorific Value or Higher Heating Value of)

L – označení pro délku (length)

M – označení pro obsah vody (moisture)

MPO – Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR

MŽP – Ministerstvo životního prostředí ČR

OECD – Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (Organisation for Economic Co-operation and Development)

OZE – obnovitelný zdroj energie

RRD – Rychle rostoucí dřeviny

SRN – Spolková republika Německo

TB – tuhá biopaliva

TF – Technická fakulta ČZU

TTP – trvalé travní porosty

UNMZ – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

USA – Spojené státy americké (United States of America)

VUT – Vysoké učení technické v Brně

1 Úvod

Využití rostlinné biomasy jako zdroje energie je nedílnou součástí historie lidstva. Biomasa je ve své podstatě veškerá hmota biologického původu na zemi a lidé se zabývají jejím pěstováním již po tisíce let. Energie z biomasy neboli bioenergie, je energie, která je získávána z nefosilních organických materiálů jako jsou dřevo, sláma, oleje rostlinného původu a rostlinné odpady pocházející především z lesnictví a zemědělství. Bioenergie pochází ze solární energie, která byla uložena v rostlinách prostřednictvím fotosyntézy. Po přímé sluneční energii je energie z biomasy jedním z nejdůležitějších OZE. Odklon od původního masového využívání energie z biomasy způsobila průmyslová revoluce, během níž byla biomasa nahrazena palivy fosilními jako jsou uhlí, ropa a plyn. Fosilní paliva jsou však vyčerpitelná, a proto je nutné se zpět navrátit k obnovitelným formám energie. Současné vysoké ceny fosilních paliv a vysoká poptávka po nich vedou k úvahám po opětovném masivním využívání zemědělské biomasy. Vzhledem k narůstající poptávce a snižující se zásobě fosilních paliv lze i nadále předpokládat zvyšování jejich cen, což bude zásadně ovlivňovat ekonomický rozvoj. Podle vědeckých, ekonomických a logických závěrů bude muset světová ekonomika přejít z neudržitelného modelu k udržitelnému, který je založen na obnovitelných zdrojích energie.

V roce 2011 celosvětově vzrostl instalovaný výkon na výrobu bioenergie z biomasy na 72 GW a meziroční nárůst činí zhruba 9 % (Rajgor, 2013). Podle odhadů UN vzroste do roku 2050 počet obyvatel o 34 % na 9,1 miliard a celosvětový ekonomický růst se každoročně zvyšuje o 6 %, proto budou zapotřebí další zdroje energie (UN Population Division, 2009; Thomson, 2012). Přibližně 25- ti letý celosvětový výzkum ještě neukázal, jak velký vliv má spalování fosilních paliv na oteplování klimatu země. Výsledky studií jsou odlišné v důsledku složitosti prostředí samotného a stále se nezná odpověď na to, jak velké oteplování je způsobeno produkcí skleníkových plynů. Nejde jen o změny globálního klimatu, ale i o globální strategii, která zahrnuje rozumné čerpání zbylých fosilních zdrojů a zároveň využívání obnovitelných zdrojů. Na druhou stranu jakékoli nešetrné a výhradně ziskové jednání, spojené se špatnou hospodářskou činností, může zapříčinit vyčerpání půd pro pěstování rostlin pro OZE a zvýšit tak závislost EU na drahých fosilních palivech. Významná část energie, která je spotřebovávána v našich klimatických podmínkách, je využívána k výrobě tepla, na vytápění a ohřev vody v domech nebo pro různé průmyslové procesy, proto byla tato práce zaměřena na zpracování biomasy procesem briketování, kde

brikety lze pro tyto účely vhodně využít. Brikety z biomasy jsou produktem drcení a lisování rostlinných materiálů např. dřeva, slámy, pilin, hoblin, štěpky a rostlinného odpadu z lesnictví, zemědělství a průmyslu a potenciálním obnovitelným zdrojem, který je z hlediska reálného využití v České republice vysoce nadějný. Zpracováním biomasy procesem briketování vzniká produkt s přidanou hodnotou tj. vyšší účinností, nižší vlhkostí, menším objemem a jednodušší obslužností. K produkci energeticky významné rostlinné biomasy značně přispívá využívání speciálních bylin a travin a rychle rostoucí druhů dřevin, tzv. energetických plodin, které nejsou náročné na pěstební podmínky a mohou se pěstovat na marginálních půdách. Podle současných výzkumů se ukázala jako jedna z nejperspektivnějších rostlin pro výrobu tuhých biopaliv ozdobnice čínská. Velký důraz je při výrobě a výzkumu tuhých biopaliv kladen na zlepšování základních mechanických parametrů, především mechanické odolnosti a hustoty. Výše zmíněné mechanické parametry jsou důležitým ukazatelem celkové kvality briket, jimiž se zabývá i tato bakalářská práce a to u dvou odrůd ozdobnice - *Miscanthus sinensis* a *Miscanthus x giganteus*.

2 Literární rešerše

2.1 Biomasa - obnovitelný zdroj energie

Pojem biomasa je definován celou řadou předpisů, norem a vyhlášek. Přesná definice biomasy podle nařízení č. 352/2002 Sb. § 2 zní: „*Biomasa je rostlinný materiál, který lze použít jako palivo pro účely využití jeho energetického obsahu, pokud pochází ze zemědělství, lesnictví, nebo z potravinářského průmyslu, z výroby surové buničiny a z výroby papíru z buničiny, ze zpracování korku, ze zpracování dřeva s výjimkou dřevního odpadu, který obsahuje halogenované organické sloučeniny nebo těžké kovy v důsledku ošetření látkami na ochranu dřeva nebo nátěrovými hmotami, a dřevní odpad pocházející ze stavebnictví.*“

Na celkovém podílu energie z OZE představuje biomasa asi 2/3 celkové produkce v Evropě. Z tohoto množství spotřeby biomasy tvoří téměř 80 % dřevo a zbytky z těžby. Brikety a pelety z jiného druhu biomasy představují pouze 0,2 %. Tento podíl se neustále zvyšuje, neboť briketování biomasy má mnoho výhod (Murphy *et al.*, 2013). Biomasa je předmětem zvýšeného zájmu proto, že je CO₂ neutrální, a tak zvyšující se poptávka po biomase může částečně přispět k řešení problému nadměrné produkce skleníkových plynů. Význam biochemických pochodů při tvorbě biomasy je zvýrazněn tím, že při růstu biomasy je spotřebováván skleníkový plyn CO₂ a současně je do ovzduší produkován uvolněný kyslík. Tato reakce probíhá při působení slunečního záření ve dne, nikoliv v noci, kdy rostoucí biomasa (rostlina) naopak produkuje skleníkový plyn, avšak výrazně méně, než spotřebovává ve dne, a současně uvolňuje energii pro syntézu stavebních látek rostlin. Rozdíl skleníkového plynu CO₂ spotřebovaného (ve dne) a vyprodukovaného (v noci) lze využít při spalování biomasy, kdy se do ovzduší uvolňuje jen takové množství CO₂, jaké bylo do hmoty rostliny akumulováno fotosyntézou v období jejího růstu. Z těchto poznatků plyne, že spalování biomasy má nulovou bilanci CO₂ (Šooš, 2000; Hrdlička, 2003). V roce 2000 byly v rámci zemí OECD instalovány zdroje na výrobu bioenergie z biomasy o celkovém výkonu kolem 30 GW, což představovalo zhruba 1 % výroby energie (Bauen *et al.*, 2004). Podle odhadů FAO je v našich zeměpisných šířkách možné z polí využít až 46 % biologického odpadu bez dalších nepříznivých vlivů na kvalitu půdy (FAO, 2010). Biomasa je tedy velmi důležitý OZE, protože na regeneraci využitých zásob je potřeba pouze krátká doba. Z ekonomického hlediska vzniká velmi výnosné průmyslové odvětví.

2.1.1 Legislativa vzhledem k OZE

EU ukládá členským státům pomocí směrnic, které souvisejí přímo s klimatickou politikou, podpůrné mechanismy na podporu OZE pro lepší konkurenceschopnost na trhu. Tato skutečnost a světový trend k vyššímu využívání OZE vede k nezbytnosti usměrňování energetické strategie k vyšší energetické efektivnosti v EU a celém světě, proto byla přijata direktiva, která předpokládá významné zvýšení využití OZE (Hrdlička, 2003). Energie z biomasy v sobě skrývá velký potenciál, který nejen že slouží k produkci energie, ale zvyšuje i zaměstnanost, stabilizuje hospodaření, přispívá k rozvoji krajiny (Benda *et al.*, 2012), a proto je třeba činit kroky k zlepšení využívání biomasy. Prvním významným krokem pro zlepšení využívání energií z OZE v České republice bylo schválení Zákona o hospodaření s energií č. 406/2000 Sb. a příslušných prováděcích vyhlášek. Tímto legislativním rámcem jsou podporovány OZE a využívání biomasy pro energetické účely. Další podpůrný krok pro využívání OZE učinil energetický regulační úřad zákonem č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z OZE a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, jenž byl nahrazen novým zákonem č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů.

Mechanismy podpory OZE v ČR:

Energetický regulační úřad byl zřízen 1. 1. 2001 zákonem č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu správy v energetických odvětvích. Mezi základní působnosti, které má ERÚ na starosti patří regulace cen, podpora využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie a kombinované výroby elektřiny a tepla, podpora hospodářské soutěže, výkon dohledu nad trhy a dozor nad zájmy zákazníků a spotřebitelů. ERÚ podle zákona: č. 265/1991, Sb. č. 458/2000 Sb., zákona č. 165/2012 Sb. vydává cenová rozhodnutí, kterými se stanoví výkupní ceny a zelené bonusy pro podporované zdroje energie (*viz Tabulka 1*).

Tab. 1: Výkupní ceny a roční zelené bonusy pro výrobu elektřiny z biomasy na rok 2014 (zdroj: Energetický regulační Věštník: ročník 13, cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2013 ze dne 27. 11. 2013)

ř./sl.	Druh podporovaného zdroje (výroby)	Datum uvedení výroby do provozu		Kategorie biomasy a proces využití	Jednotarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)		Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	a	b	c	k		m
200	Výroba elektřiny společným spalováním biomasy a různých zdrojů energie s výjimkou komunálního odpadu	-	31.12.2014	S1	2310*	1 460
201		-	31.12.2014	S2	1650*	800
202		-	31.12.2014	S3	960*	110
203		-	31.12.2014	P1	2560*	1 730
204		-	31.12.2014	P2	1920*	1 070
205		-	31.12.2014	P3	1230*	380
206		-	31.12.2014	DS1	2310*	1 460
207		-	31.12.2014	DS2	1650*	800
208		-	31.12.2014	DS3	960*	110
209		-	31.12.2014	DP1	2560*	1 730
210		-	31.12.2014	DP2	1920*	1 070
211	-	31.12.2014	DP3	1230*	380	
230	Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	1.1.2013	31.12.2013	-	2660*	1 830
231		1.1.2014	31.12.2014	-	1540*	690
240	Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy	-	31.12.2007	O1	3 900	3 050
241		-	31.12.2007	O2	3 200	2 350
242		-	31.12.2007	O3	2 530	1 680
243	Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy ve stávajících výrobnách	-	31.12.2012	O1	2 830	1 980
244		-	31.12.2012	O2	2 130	1 280
245		-	31.12.2012	O3	1 460	610
260	Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy v nových výrobnách elektřiny nebo zdrojích	1.1.2008	31.12.2012	O1	4 580	3 730
261		1.1.2008	31.12.2012	O2	3 530	2 680
262		1.1.2008	31.12.2012	O3	2 630	1 780
263		1.1.2013	31.12.2013	O1	3 730	2 880
264		1.1.2013	31.12.2013	O2	2 890	2 040
265		1.1.2013	31.12.2013	O3	2 060	1 210
266		1.1.2014	31.12.2014	O1	3 335	2 485
267		1.1.2014	31.12.2014	O2	2 320	1 470
268		1.1.2014	31.12.2014	O3	1 310	460

Světové modely pro výrobu energie z OZE:

1) Model pevných výkupních cen

V roce 2005 přijala ČR zákon č. 180/2005 o podpoře výroby elektřiny z OZE, který zavedl pevné výkupní ceny. Tento model podporuje rozvoje všech druhů OZE neohledně na aktuální efektivnost a cenu technologie na trhu. Je to tzv. německý model a je zaveden v evropských zemích a celosvětově získal větší ohlas než model kvótový, jelikož tento model dává šanci i jiným, v budoucnu možná i efektivnějším zdrojům OZE. Rozdíl mezi OZE a tradičními způsoby výroby elektřiny platí všichni odběratelé v konečné ceně elektřiny. V roce 2011 byl do dolní komory Parlamentu ČR předložen návrh zákona o podporovaných zdrojích energie. Smyslem tohoto zákona bylo vnést do české legislativy

ustanovení Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů, která přináší řadu nových povinností.

Hlavním cílem tohoto zákona bylo napomoci EU do roku 2020 k dosažení 20 % podílu energie z OZE na hrubé konečné spotřebě napříč EU (Stražil, 2009; Stupavský, 2012; Ivanova, 2012). Tato novela má také odstranit nedostatky dosavadního systému podpory zavedeného předchozím zákonem č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z OZE (Stupavský, 2012). Od května 2012 platí zákon o podporovaných zdrojích energie 165/2012 Sb., který mění systém pevných výkupních cen na systém výkupních cen přímého prodeje a zelené bonusy. Princip zelených bonusů je vystavit OZE více tržnímu prostředí (s elektřinou se obchoduje na hodinové bázi, tj. na trhu je zavedena hodinová cena elektrické energie). Hodinový zelený bonus je hrazen výrobcí tak, že se na základě kalkulace odečítá hodinová cena elektřiny od pevné výkupní ceny elektřiny, tzn. že rozdíl, který vznikne, je tzv. hodinový zelený bonus. Výrobci je vždy hrazen hodinový zelený bonus, který dorovná rozdíl mezi tržní cenou elektřiny, za kterou výrobce prodá elektřinu, a pevnou výkupní cenou (Bursík, 2013).

2) Kvótový model

Tento model je rozšířen především v USA. Obchodník má povinnost zvyšovat podíl obnovitelné energie. Je čistě v rukou obchodníka, jak povinnost splní, a proto logicky postupuje podle nákladové křivky. V ČR by byl v tuto chvíli nejefektivnější OZE vítr, tudíž by všichni obchodníci zvyšovali podíl OZE z větru až do doby, kdy by potenciál výstavby větrných elektráren byl vyčerpán. Další nejefektivnější energií OZE by byla energie z malých vodních elektráren, následována biomasou nebo fotovoltaikou. Mezi OZE patří v ČR i tzv. druhotné OZE, tj. např. těžba důlního plynu pomocí kogeneračních jednotek pro výrobu tepla nebo spalování biologicky nerozložitelného odpadu. Dnes je v ČR podíl z OZE zhruba 12,5 %. Národní akční plán kontroluje, aby byl dodržen rámec, který byl předložen Evropské komisi, kde se ČR zavazuje, že do roku 2020 zvýší podíl z OZE na 13,5 %. ERÚ uvádí, že OZE každoročně stojí 44 mld. Kč a podle ERÚ jde o neúměrnou zátěž, a proto je třeba zamezit dalšímu nárůstu cen. Cena elektřiny vyrobené z OZE je vyšší o 0,65 Kč na 1 kWh, tj. asi o 11 % celkové ceny, což není zanedbatelné. Podle hrubých výpočtů je podíl OZE na nárůstu ceny energie 37 mld. Kč, zbylých 8 mld. Kč by podle odhadů měly tvořit tzv. druhotné OZE. K selhání došlo v roce 2010 - 2011, kdy náklady na OZE z fotovoltaiky představovaly zhruba 0,4 Kč (Bursík, 2013).

Přehled důležitých zákonů, vyhlášek a nařízení, které se týkají OZE v ČR:

- Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů
- Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů
- Nařízení vlády č. 195/2001 Sb., kterým se stanoví podrobnosti obsahu územní energetické koncepce
- Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře a využívání obnovitelných zdrojů)
- Vyhláška č. 475/2005 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy, ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška č. 502/2005 Sb., o stanovení způsobu vykazování množství elektřiny při společném spalování biomasy a neobnovitelného zdroje
- Vyhláška č. 541/2005 Sb., o Pravidlech trhu s elektřinou, zásadách tvorby cen za činnosti operátora trhu s elektřinou a provedení některých dalších ustanovení energetického zákona, ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška č. 148/2007 Sb., o energetické náročnosti budov
- Vyhláška č. 5/2007 Sb., kterou se mění vyhláška č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy
- Vyhláška č. 195/2007 Sb., kterou se stanoví rozsah stanovisek k politice územního rozvoje a územně plánovací dokumentaci, závazných stanovisek při ochraně zájmů chráněných zákonem č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů, a podmínky pro určení energetických zařízení
- Vyhláška č. 453/2008 Sb. o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny
- Vyhláška č. 140/2009 Sb., o způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen
- Vyhláška č. 349/2010 Sb. o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie
- Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie (Malaťák, 2008; MPO, 2010).

2.1.2 Druhy biomasy

Biomasu lze rozdělit podle původu jako organickou hmotu, která se dělí na tři základní skupiny a to dendromasu (dřeviny), fytomasu (rostliny) a zoomasu (exkrementy hospodářských zvířat). Tuhá biopaliva lze také rozdělit na dřevní biomasu, bylinnou biomasu a zbytkovou biomasu (Murphy *et al.*, 2013). Technologicky se zpracovávána většinou dendromasa a fytomasa, což je dáno požadavky na kvalitu paliv, protože paliva musí splnit přísné normy. Použití dendromasy a fytomasy nebo jejich směsí také lépe splňuje potřebné fyzikální a chemicko - termické parametry, které jsou velice důležité pro vlastní zhutňování.

Z hlediska energetického využití se biomasa v ČR podle vyhlášky MŽP ČR č. 482/2005 Sb. dělí na lesní, zbytkovou a zemědělskou:

- **Lesní biomasa** - dendromasa, která zahrnuje palivové dřevo, zbytky z lesnictví a dřevařského průmyslu (zbytky z těžby dřeva, probírek, prořezávek, odřezky a zbytky z dřevozpracujícího průmyslu).
- **Zbytková biomasa** - jedná se o zbytky z dřevozpracujícího, papírenského a potravinářského průmyslu, který vznikl zpracováním primární rostlinné a živočišné biomasy (Benda *et al.*, 2012).
- **Zemědělská biomasa** - fytomasa zahrnuje byliny, traviny nebo dřeviny cíleně pěstované na zemědělské půdě pro nepotravinářské účely jako jsou rychle rostoucí dřeviny, trvalé travní porosty, biomasa ze zahrad a ovocných sadů.

Zemědělská biomasa se dělí na:

1) Rychle rostoucí dřeviny (RRD)

Pěstování RRD na plantážích se v ČR rozvíjí poměrně pomalu. K účelu plantážnictví jsou využívány zejména rychle rostoucí druhy dřevin jako jsou *Salix sp.* (vrba) a *Populus sp.* (topol) za účelem získání suché, lignifikované dřevoviny pro spalování. V ČR jsou z hlediska využití ploch pro pěstování energetického dřeva rozsáhlé možnosti v podobě asi 1 mil. ha sporadicky využívané plochy. RRD se obvykle pěstují na neúrodných půdách a jsou charakteristické rychlým přírůstkem biomasy. Horní hranice produkčních plantáží topolů a vrb se odhaduje do nadmořské výšky 600 m (Drlíková *et al.*, 2008). Plantáže z RRD jsou odborně nazývány výmladkové plantáže a v současné době je na našem území

asi 600 ha výmladkových plantáží, z toho 50 ha jsou mateční porosty. Výnos suché biomasy na plantážích se pohybuje mezi 8 - 10 t/ha/rok. Maximální výnos může dosahovat hodnoty až 15 t/ha/rok za ideálních podmínek. Na sušších stanovištích se však výnos sušiny pohybuje jen okolo 4 - 6 t/ha/rok. Sklizeň probíhá pomocí sklízecí řezačky a biomasa se ještě zpravidla na plantáži zpracuje na dřevní štěpku, která má při spalování za sucha výhřevnost asi 19 MJ/kg. Výhřevnost měkkého dřeva je vyšší než výhřevnost tvrdého dřeva. Tvrdé dřevo má asi o 0,5 až 1 MJ/kg menší výhřevnost (Benda *et al.*, 2012). Výroba energie ze dřeva může ohrozit obnovu lesních porostů a tím se stát neobnovitelným zdrojem energie. Produkce dřevní biomasy je spjatá i s problémem zalesňování, využívání vody, s erozí a znečištěním. O podpoře a stanovách při využívání cíleně pěstovaných dřevin pojednává vyhláška č. 453/2008 Sb. o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny.

2) Trvalé travní porosty (TTP)

Pro energetické účely se využívají TTP, které lze pěstovat na orné půdě a na plochách odborně označovaných jako TTP. TTP jsou porosty fytomasy složené především z trav z čeledi lipnicovitých (Poaceae) a z čeledi bobovitých (Fabaceae). TTP jsou schopny tvořit lignifikovanou, dobře spalitelnou biomasu, která je dále zpracovávána pomocí technologického předzpracování - briketováním nebo peletizací (Weger; 2003, Drlíková *et al.*, 2008). Trávy poskytují pro energetické účely svou nadzemní část, s tím, že tu je možné získávat po několik let a během sklizňové sezóny i opakovaně. Vytrvalé byliny byly po staletí široce používány jako pícniny, především ale sloužily jako krmivo pro zvířata na farmách. V roce 1920 byla celková rozloha travních porostů ve Spojených státech 35 - 40 mil. ha (Lewandowski *et al.*, 2003). Na území ČR je k dispozici více než 250 tis. ha nevyužitých ploch, které mohou být využity k pěstování energetických rostlin. Nadzemní fytomasa z travních porostů představuje významný energetický potenciál, který je navíc poměrně rovnoměrně rozmístěn po celém území ČR. Nepsaným pravidlem zejména v zahraničí je, že porost, který dosáhne mezní hodnoty sklizně sušiny 12 t/ha, může být považován za energetický významný. V ČR se rentabilní výroba ukazuje pouze na plochách s intenzivně pěstovanými travními porosty a na extenzivních plochách pouze s vyrovnávací finanční podporou. Extenzivně využívané travní porosty, které se mohou stát významným obnovitelným přírodním zdrojem po výrazném snížení stavů hospodářských zvířat po roce 1990, se vyskytují zejména v marginálních podhorských a horských

oblastech a zůstávají opuštěné a nevyužité. Tímto vzniká velké množství nevyužité nadzemní fytomasy. Kromě klasických druhů plodin pěstovaných na orné půdě, mohou zemědělci pro energetické účely pěstovat plodiny na nevyužívané a opuštěné půdě. V podhorských a horských venkovských regionech se rýsuje možnost vytváření pracovních míst nejen při využívání pastvin a luk na chov hospodářských zvířat, ale i při výrobě energie. Je to nový fenomén, o kterém se dosud neuvažovalo a nedostatek fosilních zdrojů k tomu člověka přímo nutí (Drlíková *et al.*, 2008). V ČR se nadzemní fytomasa travních porostů pro energetické účely, zejména pro výrobu tuhých paliv a bioplynu, ve srovnání s vyspělými zeměmi EU využívá poměrně málo. Je třeba především dbát na trvalý ekonomický rozvoj, kdy výroba biopaliv může mít negativní dopady na ceny potravin.

Vytrvalé trávy

Vytrvalé trávy tvoří atraktivní biomasu s vysokým energetickým potenciálem. Od roku 1980 započal rostoucí zájem o vytrvalé byliny jako energetické plodiny a to zejména v USA a Evropě. V Evropě se využívá asi 20 druhů vytrvalých trav, které byly testovány. Mezi neznámější patří ozdobnice (*Miscanthus*), obří rákos a proso. Ozdobnice je C4 rostlina a je původem z jihovýchodní Asie, zatímco obří rákos (původem z Evropy), a proso (původem ze severní Ameriky), jsou C3 rostliny. Jednotlivé trávy se liší svými ekologickými a klimatickými požadavky, požadavky na založení porostu, potenciálem výnosu a vlastnostmi biomasy. Je třeba vzít v úvahu, že trávy preferují především teplejší oblasti mírného pásma a že C3 trávy mají efektivnější způsob fotosyntézy, a proto mohou být pěstovány v chladnějších oblastech. Celkový výnos bývá zpravidla ovlivněn zimními teplotami a délkou vegetačního období. Nízké zimní teploty a krátké vegetační období jsou hlavní omezení růstu C4 trav v severní Evropě. Produktivita C4 trav je proto více konkurenceschopná v jižnějších oblastech. Pokud srovnáme C3 a C4 trávy s dřevinami, C3 a C4 trávy mohou poskytnout více než dvojnásobek ročního výnosu biomasy v teplých a mírných oblastech než dřeviny, protože trávy mají efektivnější fotosyntézu. Výroba bioenergie z těchto vytrvalých trav proto vyžaduje výběr nejvhodnějších druhů pro dané ekologické (klimatické) podmínky. Pěstování trav a jejich sklizeň na jaře významně napomáhá k zvýšení množství a aktivity různých druhů ptáků, savců a hmyzu, kteří se vyskytují v porostech víceletých trav, a tím pádem ke zvyšování biodiverzity (Lewandowski *et al.*, 2003). Kromě ozdobnice jsou k dispozici pro energetické účely i jiné, méně využívané, ale potenciálně využitelné vytrvalé rostliny, které se liší v produktivitě,

chemických a fyzikálních vlastnostech a svými ekologickými a klimatickými požadavky jako jsou např. chrastice rákosovitá - *Phalaris arundinacea*, konopí seté - *Canabis sativa*, křídlatka - *Reynoutria*, trst' rákosovitá - *Arundo donax* nebo dochan psárkovitý - *Pennisetum alopecurdides*, a proso prutnaté (*Panicum virgatum*). Jejich vhodností pro využívání je třeba se nadále zabývat. Pro produkci travní biomasy lze však využít i plodiny primárně určené pro potravinářské účely, např. obiloviny. Tyto potravinářské škrobnaté plodiny mají však vyšší obsah popela a vody, liší se i poměrným zastoupením celulózy k ligninu apod. Nižším poměrem celulózy a ligninu a rozdílnou strukturou je dáno jejich horší spalování. A tak pokud nejsou tyto plodiny samy příliš vhodné ke spalování, lze je smísit např. se dřevem nebo uhlím (Hrdlička *et al.*, 2005). V porovnání s ostatními palivy, spalné teplo sena z trávy je přibližně 18 MJ/kg, průměrná výhřevnost černého uhlí se pohybuje kolem 32 až 42 MJ/kg a průměrná výhřevnost motorové nafty a benzínu se pohybuje kolem 46 MJ/kg (Jevič, Hutla, Šedivá, 2008; Ivanova, 2012). Výzkum a šlechtění vytrvalých trav však probíhá jen velmi krátkou dobu, bylo by proto dobré, zamyslet se i nad potenciálním využitím jiných druhů trav, které mohou být lepší pro pěstování např. na neúrodných půdách nebo při odlišných klimatických podmínkách. Některé nevýhody týkající se celkové efektivity v produkci biomasy jednotlivých druhů lze však odstranit pomocí šlechtění. Metody využití jednotlivých rostlin, pěstování a sklizně, musí být podrobeny výzkumu, aby je bylo možné využívat efektivněji. Je potřeba zkoumat především potenciální výnos, biochemické složení a nejlepší postupy při pěstování a sklizení na různých lokalitách (Lewandowski *et al.*, 2003). Velmi důležité je provádět další výzkum, tak aby byly zjištěny jednotlivé parametry při briketování i peletování, a nalézt tak nejvhodnější složení.

2.1.3 Ozdobnice čínská (*Miscanthus sinensis* a *M. x giganteus*)

Ozdobnice je jednoděložná vytrvalá víceletá trstnatá rostlina vzhledem připomínající travu vysokého vzrůstu a dosahující výšky do 3 - 4 m o průměru stébla kolem 1 cm. Ozdobnice pochází z východní Asie (Čína, Taiwan, Korea, Thajsko, Filipíny, východní část Ruska, Indonésie). Někteří lidé nazývají ozdobnici sloní tráva, tento název je ale nesprávný. Sloní tráva, jakož rostlina existuje, ale jedná se o zcela jiný druh, který s ozdobnicí nemá nic společného. První klon ozdobnice byl do Evropy přivezen v roce 1935 (Valíček, 2002; Kolektiv autorů, 2011). Z tohoto klonu byla vypěstována většina druhů ozdobnice

používaných nyní v Evropě. Dříve se ozdobnice využívala pouze jako ozdobná rostlina. Teprve od roku 1983 se začala v Evropě ozdobnice pěstovat pro technické účely a až po roce 1989 začaly pokusy s využitím ozdobnice pro průmyslové zpracování (stavební materiál, obalový materiál, geotextilie, rostlinný substrát a papír) a intenzivní výzkum na využití ozdobnice jako obnovitelného zdroje pro energetické účely (Strašil, 2009). Hlavní prioritou pro využití ozdobnice v dnešní době je její pěstování pro energetické účely, tj. pro spalování, ale v poslední době je i zájem o její využití jako suroviny v lignocelulosových biorafinačních technologiích pro výrobu biopaliv na bázi chemikálií (Haverty *et al.* & Melligan *et al.*, 2012; Hayes, 2013). V České republice je ozdobnice čínská také vnímána jako energetická rostlina pro její dobrou ekonomičnost v poměru vložené a získané energie a dále také pro její malý škodlivý vliv na životní prostředí vzniklý při jejím spalování. Botanicky se ozdobnice řadí do třídy (Monoxyledonae), čeledi lipnicovité (Poaceae), tribus vousatkovité (Andropogoneae). Ozdobnice optimálně využívá živiny, vodu a světlo, pokud od ní nevyžadujeme nadprůměrné výnosy, není zapotřebí ji ani hnojit. Ozdobnici se daří lépe v teplejších oblastech, maximální nadmořská výška by neměla přesáhnout 700 metrů nad mořem, na lehčích půdách s průměrným množstvím srážek kolem 600 mm/rok. Ozdobnice nemá ráda chladné, vlhké, jílovité nebo měkké půdy s vysokou hladinou spodní vody. Nejlepších výnosů bylo dosaženo při průměrných teplotách vzduchu vyšších než 15 °C a srážkách vyšších než 400 mm podle studií v SRN. Do dnešního dne bylo vyšlechtěno velké množství kultivarů ozdobnice a na jejich rozlišení se používá několik metod (morfologické měření) a není jednoduché rozlišit jednoduché kultivary od sebe (Strašil, 2009).

M. x giganteus: je sterilní triploidní hybrid mezi diploidním *M. sinensis* a tetraploidním *M. sacchariflorus*. V našich podmínkách se oddenky *M. x giganteus* příliš nerozrůstají a rostlina není agresivní, semena nedozrají, a proto nejsou schopna se dále nechtěně šířit do krajiny. Z hlediska rajonizace je tento klon vhodnější pro střední Evropu (Strašil, 2009). *M. x giganteus* má až 2x vyšší hektarové výnosy suché biomasy v porovnání s *Miscanthus sinensis*, ale požadavky na klimatické podmínky jsou odlišné (Ivanova, 2012).

Miscanthus sinensis: tento klon je podobný jako *M. x giganteus*, je však nižšího vzrůstu. Z hlediska rajonizace je tento klon vhodnější pro severní Evropu. Bylo již zaznamenáno, že v případě výskytu teplého léta a podzimu, může docházet k dozrání semen a následnému šíření rostlin do krajiny pomocí těchto semen. Proto lze doporučit pro

pěstování ozdobnice bez rizik nechtěného šíření rostlin do přírody klon *M. x giganteus* (Strašil, 2009).

Založení porostu

Porost ozdobnice lze založit za první pomocí oddenků, za druhé pomocí sazenic, které byly vypěstovány pomocí mikropropagace tkáňových kultur a za třetí vysetím semen. Ideální je založit porost pomocí oddenků v měsíci dubnu, kdy se již nevyskytují jarní mrazíky. Není dobré sázet rostliny příliš pozdě, jelikož pozdě zasazené rostliny už nejsou schopny dosáhnout dobrého rozvoje a poté hrozí, že na konci vegetačního období může dojít k špatné translokaci zásobních látek zpět do oddenku před zimním obdobím. V klimatických podmínkách střední Evropy se ozdobnice většinou množí pouze podzemními oddenky, jelikož semena nestačí dozrát (Strašil, 2009). Oddenky jsou voskovo - dřevnaté a během roku na okrajích balu přibude 10 - 20 nových. Na rozdíl od jednoletých rostlin se při pěstování ozdobnice zpracovává půda jen před víceletým obdobím, ve kterém je ozdobnice pěstována. Zároveň se snižuje i riziko půdní eroze (Lewandowski *et al.*, 2003). Založení porostu pomocí sazenic (mikropropagace) je ve střední a severní Evropě možné jedině v případě, sázíme-li předpěstované sazenice alespoň 1 rok staré, které byly předchozí rok předpěstovány ve skleníku, kde je možné regulovat teplotu, aby rostliny neuhynuly. Tato metoda je navíc pro komerční pěstování příliš drahá, a proto není moc používána. Založení porostu pomocí semen není v Evropě moc využíváno, jelikož klimatické podmínky ve střední a severní Evropě nedovolí získat reprodukční semena. Při výsadbě porostu pomocí semen by nebyl zajištěn 100% vývin rostlin a většina vyvinutých rostlin by nepřežila zimní období. Doporučená hustota porostu ozdobnice je 10 - 20 tis. rostlin na hektar. Při hustším porostu jsou v prvních letech dosahovány vyšší výnosy, ale v pozdějších letech se výnosy ustálí bez ohledu na hustotu počátečního porostu, jelikož se počet stonků (oddenků) každým rokem zvyšuje, až dosáhne maximální hodnoty, proto může být počáteční výsadba nahusto i finančně nevýhodná. Ještě bych chtěl upozornit, že v 1. roce výsadby se ozdobnice nesklízí, tzn. 1. sklizeň nastává až ve 2. roce po výsadbě (Strašil, 2009).

Pěstování a ochrana rostlin

Po založení porostu ozdobnice je nutno 1. rok redukovat plevel, který může při vyšším výskytu soutěžit o světlo, vodu a živiny a snižovat výnosy. Proti plevelům je možné použít mechanickou ochranu např. pomocí prutových bran, popř. chemickou cestou - selektivní

herbicidey. Druhým rokem opadávající listová hmota vytvoří vrstvu mulče a zabraňuje tak růstu plevelů. Hnojení ozdobnice při průměrném výnosu není zapotřebí (Stražil, 2009). Zpočátku má ozdobnice zvýšené nároky na obsah uhlíku a dusíku v půdě. Ozdobnice zlepšuje odvodnění, koloběh živin v půdě a celkovou úrodnost půdy hromaděním organických látek v půdě, především uhlíku (Clifton- Brown *et al.*, 2007; Murphy *et al.*, 2013). Ozdobnice snižuje vliv větrné a vodní eroze, má pozitivní vliv na půdní strukturu, zvyšuje i rychlost koloběhu prvků v systému půda-rostlina a zadržuje půdní vláhu. Tyto pozitivní vlastnosti ozdobnice jsou dány především hlubokým zakořeněním a rhizomatickou strukturou kořenů. Kvůli uchování živin pomocí oddenků má ozdobnice v pozdějších letech nízké požadavky na vstupy živin, a má i málo přirozených škůdců (Lewandowski *et al.*, 2003).

Sklizeň

Ozdobnice je vytrvalá rostlina dosahující vysokých výnosů. Termín sklizně závisí na jejím využití. Sklízí se v době, kdy rostlina dosáhne nízké vlhkosti, a proto je ideální termín sklizně před vyrašením nových výhonů, tj. v období března až dubna (Clifton- Brown *et al.*, 2001; Hayes, 2013). Při sklizni v tomto období získáme travinu s nízkou vlhkostí, avšak je třeba počítat se ztrátami celkové nadzemní fytomasy až o 30 - 35 % než kdyby byla sklizena na podzim (Lewandowski & Heinz; 2003, Stražil, 2009). V průměru se výnosy sušiny snižují o 18 % v období mezi prosincem a únorem a v období od února do března o dalších 16 %. Hlavním důvodem úbytku nadzemní fytomasy ve sklizené sušině je úbytek hmotnosti listových částí v důsledku opadu listů a ztráty částí stonků (Clifton- Brown *et al.*, 2001; Lewandowski, & Heinz, 2003; Hodgson *et al.*, 2011; Hayes, 2013). Podle výzkumu na Aberystwythské univerzitě v Irsku byly celkové ztráty nadzemní fytomasy sušiny téměř 40 % v období od prvních mrazů do sklizně v březnu. Dále je třeba vzít při sklizni v úvahu skutečnost, že jsou rozdíly poměru relativních hmotností stonkových a listových částí v jednotlivých fázích růstu (Clifton- Brown *et al.*, 2001; Hayes, 2013). V oblastech jižní Evropy je možné ozdobnici sklízet i na podzim. Sklizeň je většinou prováděna samohodnými rezačkami na kukuřici. Ze sklizené slámy je možné lisovat pelety, brikety, popř. využít ozdobnici pro průmyslové zpracování (Stražil, 2009). Výnos ozdobnice se může pohybovat kolem 21 tun/ha v případě sklizně na podzim nebo kolem 15 tun/ha v případě sklizně v březnu nebo dubnu (Clifton- Brown *et al.*, 2001; Hayes, 2013). Průměrný světový výnos ozdobnice dosahuje hodnot 10 - 25 t/ha/rok, výnos

zaznamenaný v ČR se pohybuje kolem 18 t/ha/rok suché nadzemní biomasy a nejvyššího zaznamenaného výnosu 44 t/ha/rok bylo dosaženo v Dánsku (Valíček, 2002). Rostliny nejnižšího vzrůstu mají více listových částí a až od hmotnosti stonkových částí nad 700 g dochází k obrácení poměru hmotností. Jednotlivé podíly a poměry listových a stonkových částí mohou mít vliv na konečné spalování (Clifton- Brown *et al.*, 2001; Hayes, 2013). V současnosti probíhá výzkum po celé Evropě, při čemž bylo osazeno asi 500 ha ploch, největší plochy ozdobnice se pěstují v SRN a Nizozemí (Stražil, 2009).

Energetické využití

Základním předpokladem k energetickému využívání je výhřevnost, kdy spalné teplo slámy z ozdobnice je kolem 19 MJ/kg, což je více než u běžně používaného hnědého uhlí pro otop v domácnostech. V případě hnědého uhlí je výhřevnost od 12 do 14 MJ/kg (Stražil, 2009). Hodnoty spalného tepla (GCV) sušených briket vyrobených v poměru 50 % *M. x giganteus* a 50 % hobliny se pohybují až 21,02 MJ/kg (Ivanova, 2012). 1 t ozdobnice nahradí 400 l oleje nebo 0,6 t černého uhlí (Murphy *et al.*, 2013). *Miscanthus* má vysoký čistý energetický obsah ve srovnání s ostatními energetickými plodinami. Rozhodování o pěstování slámy např. z ozdobnice pro energetické účely by mělo být spojeno s kritériem posouzení dopadu energetického využití slámy na životní prostředí, vlivu na kvalitu půdy a ekonomické kritérium by mělo být zaměřeno především na zhodnocení možností dosahování konkurenceschopnosti a finančních úspor.

Mezi důležité aspekty využívání slámy pro energetické účely patří:

- náklady na vstupy pro výrobu slámy jako paliva
- náklady na technické vybavení
- náklady na skladování
- náklady na dopravu (Kára, 2003)

2.2 Briketa a briketování

2.2.1 Charakteristika briket

Mechanicky velkým tlakem zpracovaná suchá dřevní drť, prach piliny nebo suché, drcené nebo nakrátko řezané stébelniny do válce o různém průměru, krychle, šestiúhelníku nebo tělesa kulovitého tvaru (Murtinger & Beranovský, 2011), jejichž průměr je v rozsahu mezi 40 - 100 mm (Bufka, 2011) nebo ještě větší, se nazývá briketa. Nejběžnější jsou brikety ve tvaru válce o průměru mezi 50 - 65 mm s délkou mezi 40 - 70 mm (Havrland *et al.*, 2008).

Tvar brikety je nepodstatný z hlediska toho, k čemu je briketa určena, ale je závislý na způsobu zhutnění a tvaru raznic. Výhřevnost briket je srovnatelná s výhřevností hnědého uhlí.

Brikety vyrobené z biomasy = palivo budoucnosti

Nesmíme si ale plést brikety vyrobené z biomasy s briketami vyrobenými z uhelného prachu, při jejich spalování je do ovzduší uvolňován oxid uhličitý

Brikety vyrobené z biomasy je palivo, které je k životnímu prostředí šetrné (Šooš, 2000) a v ČR má technologie briketování tradici už více jak 20 let (Murtinger & Beranovský, 2011).

Charakteristické znaky briket a výhody, které přináší jejich využívání k energetickým účelům:

- na rozdíl od fosilních paliv se jedná o obnovitelný zdroj pro vytápění
- vysoká výhřevnost kolem 18 až 20 MJ/kg
- nízký obsah popelovin (0,5 - 1 %)
- nízký obsah vody (kolem 10 %)
- nízký obsah síry
- nízké nároky na skladovací prostory dané vysokou objemovou hmotností
- přijatelná cena za vyrobenou jednotku tepla
- nízký obsah emisí
- perspektivní ekologické palivo (Klobušník, 2003)
- takřka neomezené skladování s relativní vlhkostí vzduchu do 80 %

Brikety jsou větších rozměrů než pelety, a proto nejsou vhodné pro automatické spalování, při němž je dávkování a přísun paliva (pelet) do kotle řízen počítačem a dopravníky. Na druhou stranu brikety mají oproti peletám jiné a dosti podstatné výhody:

- mají pomalejší a rovnoměrnější průběh hoření
- menší opotřebování funkčních částí lisu při výrobě vzhledem k nižšímu poměru povrchu k objemu než má peleta
- při výrobě je možno použít technologii s dlouhou fází výdrže stlačení, což příznivě ovlivňuje hustotu výlisku
- briketování je lacinější než peletování a méně náročné na vstupní surovinu

- nižší investiční náročnost a energetické vstupy na jednotku vylisovaného materiálu (Klobušník, 2003)

Důležitými parametry briket jsou:

1) Chemické parametry

- obsah Cl, N, S, H, C, O
- obsah a složení těžkých kovů
- množství popela
- obsah těkavých látek

2) Fyzikálně - mechanické parametry

- vlhkost
- mechanická odolnost
- rozměry (průměr, délka)
- hustota a objemová hustota
- pórovitost a velikost částic
- struktura a skladba
- velikost frakce
- výhřevnost (Matúš *et al.*, 2009)

2.2.2 Druhy briket

Brikety lze vyrábět z následujících materiálů:

- z měkkého i tvrdého dřeva
- z lesní štěpky a kůry stromů
- z RRD (např. topol)
- ze stébelnin např. ozdobnice, šťovík, křídlatka, chrastice, len, konopí
- ze slámy
- ze směsí např. dřevní piliny - stébelniny, šťovík - křídlatka, chrastice - křídlatka apod.
- z čistírenských kalů, ze sběrného papíru (Klobušník, 2003)

Brikety dřevěné

Dřevěná briketa je zušlechtěné lisované palivo ze suché drti, prachu nebo pilin s nízkým obsahem síry (do 0,07 %) (Murtinger & Beranovský, 2011) a výhřevností (cca 16,5 MJ/kg) (Buřka, 2011), s relativní vlhkostí 6 - 12 % (Buřka, 2005; Malat'ák, 2008) o objemové

hmotnosti 1000 - 1400 kg/m³ (Malat'ák, 2008; Brožek *et al.*, 2012) se zůstatkem popela do 1,2 % se schopností prostorově úsporného skladování a to i ve skladu při relativní vlhkosti vzduchu do 80 % po prakticky neomezenou dobu (Havrland & Pobedinschi, 2011). Nejčastěji používaným materiálem na výrobu briket jsou dřevěné piliny, které se za vysokého tlaku (až 315 bar, tj. 31,5 MPa) lisují na hydraulických nebo šnekových lisech. Vlivem tlaku se piliny zahřejí, přičemž se uvolňuje lignin, který tvoří spolu s přídatným organickým pojivem (např. do 2 % melasy, kukuřičné mouky) pojivo udržující briketu po vychladnutí v požadovaném tvaru a zároveň zabraňující jejímu rozdrobení při manipulaci. Lignin na povrchu vytvoří tvrdý průsvitný povlak, který zabraňuje vnikání vlhkosti do briket při jejich skladování (Klobušník, 2003). Lignin je významnou složkou lignifikované části rostlin nebo dřevin, zajišťuje tak mechanickou pevnost, vyskytuje se v buněčných stěnách a tvoří součást kapilár, které v rostlině vedou vodu a živiny. Obsah ligninu v různých dřevinách kolísá od 15 - 36 % a dřevo jehličnanů je bohatší na lignin než dřevo listnatých dřevin. Obsah ligninu ve dřevě rovněž závisí na druhu, stáří rostliny a jednotlivé části daného druhu. Výhřevnost ligninu je asi 25 MJ/kg, měkčí celulózy mají výhřevnost asi 25 MJ/kg (Benda *et al.*, 2012). Nejdůležitější vlastností ligninu je jeho nízká teplota tání, tj. asi 140 °C (Mani *et al.*, 2006; Ivanova, 2012). Lisování dřevěných briket je zpravidla do tvaru malých nebo velkých válečků s dírou i bez díry, hranolů (RUF), čtyř-, šesti, nebo osmiúhelníků (tento osmiúhelníkový tvar briket se nazývá Pini & Key), o průměru 40 až 100 mm (Malat'ák, 2008; Bufka, 2011) se zůstatkem popela do 1,2 %. Povolený obsah polutantů a ekologického pojiva je stanoven normou (Malat'ák, 2008). Vývoz dřevěných briket je zhruba 2x vyšší než jejich dovoz. Celková produkce dřevěných briket v roce 2011 byla 100 tis. tun briket a tato produkce neustále stoupá, i když výrobci jsou občas omezeni cenou a případným nedostatkem biomasy. V roce 2011 bylo z ČR exportováno 74 tis. tun dřevěných briket a importováno bylo 46 tis. tun briket. Import dřevěných briket je zejména ze Slovenska a Ukrajiny. Průměrná cena dřevěných briket se pohybuje kolem 5000 Kč/t. Dřevěné brikety jsou zařazeny v nižší sazbě DPH (Bufka, 2011).

Brikety rostlinné

Rostlinná briketa je zušlechtěné lisované palivo z drcených nebo nakrátko řezaných stébelnin (slam obilovin, olejnin, travin, energetických bylin) lisovaných do tvaru válečků, hranolů nebo šestiúhelníků a průměru 40 až 100 mm s výhřevností 12 až 19 MJ/kg (Bufka,

2011), s obsahem vody 8 až 14 % a se zůstatkem popela 5 až 6 % (Malat'ák, 2008). Počáteční objemová hmotnost rostlinné biomasy se pohybuje kolem 40 - 200 kg/m³, objemová hmotnost briket vyrobených z různých druhů rostlinné biomasy je obvykle 600 - 800 kg/m³ (Kaliyan & Morey, 2009). Na trhu jsou tyto brikety dostupné v podobě válce bez díry nebo ve tvaru hranolů. V případě importovaných briket, nejčastěji se jedná o brikety Pini & Key, jde o výrobek ze slunečnice ve tvaru šestibokého hranolu s dírou. Produkce rostlinných briket stagnuje, i když na trhu působí řada malých producentů a soukromníků. Důvodem stagnace je konkurence dřevěných briket a levnější dovoz z Ukrajiny. Celková produkce na tuzemském trhu je v současné době nevýznamná a pohybuje se na úrovni 1- 2 tis. tun. O budoucím vývoji cen rozhodne poptávka trhu, mechanické a energetické vlastnosti surovin, z kterých jsou brikety vyráběny (š'ovík, konopí, sláma obilovin a olejnin) (Bufka, 2011).

Brikety papírové

Papírová briketa je zušlechtěné lisované palivo z drceného lisovaného papíru a lepenky nebo z drcených odpadových kartonů. Na trhu se objevují i tzv. směsné brikety, které jsou namísené z papíru a pilin, popř. z papíru a rostlinných materiálů o průměru 150 mm a délky 300 až 500 mm, s objemovou hmotností kolem 300 kg/m³, obsahem vody do 18 % (Malat'ák, 2008) s výhřevností 12 - 15 MJ/kg. Papírová briketa má většinou tvar válce nebo zkoseného hranolu, popř. kostky (RUF) a jako palivo jsou papírové brikety zařazené do vyšší sazby DPH. Pro budoucí produkci papírových briket bude zásadní kvalita, cena, půjde i o legislativní podporu a o podporu ze strany výrobců spalovacích zařízení. Celková produkce v roce 2011 se pohybovala kolem několika tisíců tun a současná cena za tunu je 3 - 4 tis. Kč (Bufka, 2011).

Brikety rašelinové

Brikety lisované z průmyslově těžené rašeliny, která se získává frézováním rašeliny. Rašelina se poté dosušuje z vlhkosti 40 - 50 % na vlhkost max. 18 %, následuje její lisování do briket bez pomocného pojiva. Výhřevnost těchto briket je 15 - 19 MJ/kg. V polovině roku 2009 se na českém trhu objevila jako novinka rašelinová briketa, která je dovážena z Ukrajiny a Běloruska. Od roku 2009 dovoz těchto briket stagnuje a spotřeba se za toto období pohybovala mezi 1 a 2 tis. tunami. Cena těchto briket je odvislá hlavně od velikosti balení a od toho, zda odběratel má možnost nakupovat přímo od přímých dovozců a pohybuje se mezi 4000 Kč/t až 6000 Kč/t (balíček po 10 nebo 12 kg) (Bufka, 2011).

2.2.3 Sušení biomasy

Důležitou vlastností, která ovlivňuje kvalitu výlisku, je relativní vlhkost. Relativní vlhkost dřevní suroviny, ze které je ještě možné vytvořit výlisek briketováním je do 18 % v závislosti na druhu materiálu a použité technologii lisování. Pokud relativní vlhkost je vyšší jak 18 %, je nutně materiál sušit (Matúš & Križan, 2009). Vlhkost je dále velice důležitá při spalování biomasy, pokud spalujeme například dřevní štěpku, která bude mít vlhkost 50 %, využijeme pouze polovinu energie, což je z energetického hlediska značně nevýhodné. Vše je dáno tím, že voda má veliké výparné teplo a s rostoucím obsahem vody se u biomasy při spalování snižuje energetický zisk. Proto se všeobecně doporučuje vlhkost pod 30 % a za optimální je považována vlhkost pod 20 % (Matúš, 2007). Při spalování biomasy s vyšším obsahem vody dochází k uvolňování vodních par, které ochlazují kotlové těleso, komín a tím nastává výrazné zhoršení podmínek pro funkční spalování, kdy studené kotlové těleso může ještě napomoci, že se proces hoření i zcela zastaví. Dalším vzniklým problémem je tzv. dehtování, kdy dochází k usazování dehtu na vnitřní stěny kotlového tělesa, ale i na stěny komínového tělesa, což může mít za následek prodehtování komínu a znehodnocení komínového tělesa. Proto je nutné biomasu před zpracováním a následným spálením zbavit části obsahu vody v sušicím zařízení, kde se množství vlhkosti sníží na přijatelnou mez (Matúš & Križan, 2008). Při lisování briket je nutno biomasu vysušit na ještě nižší obsah vody než je možno docílit při běžném sušení na vzduchu a proto je nutné použít k sušení zvýšených teplot, například sušením teplým vzduchem. Používá se k tomu většinou odpadní teplo, solární energie nebo kogenerace. Vysoušení pomocí kogenerace je velmi efektivní metoda vysoušení biomasy obzvláště v letním období, kdy tyto výměníky (voda - vzduch) produkují více tepla, než je možné využít. Teplý vzduch z výměníku je pak pomocí ventilátoru vháněn pod rošty sušáren biomasy. Ten samý způsob lze využít i v případě solárního ohřevu vody, který bývá v letních měsících nevyužit a získaným teplem dosušovat biomasu. Výše popsané způsoby vysoušení biomasy ale většinou nedosahují námi požadované vlhkosti, proto se musí biomasa ještě více dosušet. K úplnému vysoušení biomasy na potřebných 20 % vlhkosti se používají technická zařízení, která se nazývají sušičky (Križan & Matúš, 2008). Většinou to bývají tzv. bubnové sušičky biomasy, které se skládají z několika sestav zařízení, které dohromady pak tvoří jeden funkční celek. Sušička je určena k sušení materiálů rostlinného

původu. Výkon sušičky a spotřeba paliva na sušení je odvislý na typu sušičky a její velikosti (Matúš, 2007).

2.2.4 Drcení biomasy

V celém procesu briketování je drcení, štěpkování, sekání nebo třídění biomasy jeden z velmi důležitých faktorů, který výraznou měrou ovlivňuje finální výsledek, tj. kvalitu výlisku. Čím větší jemnost frakce, tím lepší kvalita výlisku, výlisk je soudržnější, nerozpadává se, nedrolí a dosahuje vyšší hodnoty objemové hustoty. U jemné frakce není potřeba při následném lisování zvyšovat tlak a teplotu (Matúš & Križan, 2008). K drcení a štěpkování se používá spousta strojů a zařízení ať už naší popř. zahraniční produkce. Drtící stroje dokáží vyrobit z energetických rostlin, rostlinného a dřevního odpadu hmotu s hrubou frakcí zvanou štěpka, která je vhodná především pro přímé spalování. Pro účel výroby briket je však potřeba jemnější frakce, proto využíváme drtiče nebo kladívkové mlýny, které dokáží rozmělnit materiál na jemnější konzistenci. Drcení, štěpkování popř. mletí materiálu je v podstatě mechanické rozmělnění pomocí rotačních nožů popř. kladívek a tento mechanismus využívají veškeré stroje vyráběné pro tento účel. Stroje se liší hlavně ve výkonu, doplňcích (posuvné dopravníky, násypky, zásobníky atd.). Dále lze drtící stroje rozdělit na stabilní nebo mobilní.

2.2.5 Briketovací technologie

Technologie zpracování biomasy do formy biopaliva lisováním má spoustu podob a tudíž každá podoba má trochu jiné vlastnosti. Pokud biomasu zpracováváme zhuťováním, tzv. lisováním, musíme ji nejprve definovat a poznat její mechanické a chemické vlastnosti, které jsou tak důležité pro specifikaci dalšího zpracování a zhodnocení.

Z pohledu lisování je velmi důležité poznat složení materiálu pro lisování, jeho strukturu a velikost frakce. Tyto dvě vlastnosti výrazně ovlivňují následné vazbové mechanismy vznikající během lisování. Ovlivňují plynulost procesu lisování a výslednou kvalitu koncového produktu (Matúš & Križan, 2009).

Pro briketování jsou důležité tyto vlastnosti biomasy:

- hmotnost biomasy
- hustota biomasy

- vlhkost biomasy
- pórovitost biomasy
- struktura a skladba biomasy
- velikost frakce biomasy
- chemické složení biomasy
- výhřevnost (Križan & Matúš, 2009)

Částice lisovaného materiálu, jsou v důsledku působení okolních tlaků deformovány a jsou namáhány hlavně v oblasti vazbových sil a stykové plochy. Čím je vstupní frakce lisovaného materiálu menší, jemnější a homogennější tím je potřebný výkon na zhuštění menší a naopak, čím je frakce lisovaného materiálu větší, je potřeba výkonnější lis na zhuštění a výsledný výlisek i přes potřebný větší výkon mívá menší pevnost a homogenitu, jelikož s rostoucí velikostí frakce lisovaného materiálu klesají vazbové síly a stykové plochy, což má ve výsledku za následek rychlý rozpad výlisku v procesu hoření a výlisek rychleji shoří (Križan & Matúš, 2008). Výsledná výhřevnost lisovaného paliva je samozřejmě ovlivněna také výhřevností vstupního materiálu a to tak, že čím je vstupní materiál výhřevnější, tím je výsledné palivo více výhřevné (Križan & Matúš, 2009). Lisování zlepšuje fyzikální a chemické vlastnosti briket, zejména z hlediska výhřevnosti, mechanické odolnosti a hustoty.

Briketovací lis

Briketovací lis se používá pro výrobu vysoce kvalitních briket s požadovanou hustotou z odpadů zemědělsko - lesnického průmyslu, jako je dřevní štěpka, piliny, sláma, rýžové slupky a jiný materiál na výrobu biomasy. Obecně platí, že součástí briketovacího zařízení je bruska, sušička, vlastní lis a balicí stroj.

Celý proces briketování na lisovacích briketovacích strojích lze rozdělit do šesti fází:

1) Materiál je volně sypaný do lisovacího prostoru a zatím na něj nepůsobí žádný tlak, teplota materiálu je nízká. Mezi jednotlivými částicemi působí van der Waalsovy síly a Coulombové elektrostatické síly. Kapalinové mosty vzhledem k nízké vlhkosti zatím nevytvářejí pevnější vazby. Tvarové vazby mezi jednotlivými částicemi materiálu zatím nemají žádný význam.

- 2) Na materiál začíná postupně působit tlak a začíná se zvyšovat teplota. Částice se začínají k sobě přibližovat a mezi jednotlivými částicemi se začíná zvyšovat počet kontaktů. Narůstá účinek van der Waalsových přitažlivých sil. Vzhledem k vzájemnému přibližování se částic, začínají působit i kapalinové mosty. Zvyšujícím se tlakem nastává tvarování jednotlivých částic, které se vzájemně uzpůsobují a tvarové vazby nabývají význam. Význam nabývají i třecí vazby.
- 3) Nastává maximální lisovací tlak a maximální teplota. V této fázi lisování je jeden z nejdůležitějších procesů lisování, která se nazývá výdrž. Je to v podstatě časový úsek, po který je lisovaný materiál stlačován maximálním tlakem. Při maximálním tlaku, teplotě a výdrži se vylučuje lignin obsažený v buněčné struktuře dřevní biomasy, vyloučený lignin obaluje jednotlivé částice a vytváří spojovací vazby na základě adhezních a kohézních sil. Tvarové a třecí síly dosahují při maximálním tlaku největších hodnot.
- 4) Lisovací tlak poklesává na nižší hodnotu, která je konstantní, dochází k chladnutí výlisku při konstantním tlaku, čímž je zabráněno rozpadu výlisku. Poklesem tlaku se začíná zvyšovat viskozita ligninu a začínají silněji působit síly adheze a koheze. Tvarové vazby zůstávají ale třecí vazby v důsledku snížení tlaku pozbývají význam.
- 5) Lisovací tlak už na výsledný výlisek nepůsobí, teplota výlisku stále klesá na teplotu okolní teploty, chladne i lignin, tím se zvyšuje viskozita a zvyšují se síly adheze a koheze. Lignin začíná pomalu tuhnout a vytváří mosty tuhého charakteru mezi jednotlivými částicemi. Postupným chladnutím síly adheze a koheze slábnou a ustupují a jsou nahrazovány chladnoucím ligninem a jeho mosty spojujících jednotlivé částice. Tvarové vazby zůstávají už neměnné a stálé.
- 6) V poslední fázi na výlisek nepůsobí žádné zatížení, jeho teplota se rovná teplotě okolního prostředí, vniklý hotový výlisek má požadované mechanické vlastnosti. Silové vazby mezi částicemi hotového výlisku jsou pouze tvarové a vazby vzniknuté ztuhnutím ligninu (Matuš & Križan, 2008).

Způsob lisování a lisovací tlak výraznou měrou ovlivňuje výslednou pevnost výlisku. Ta s narůstajícím tlakem roste maximálně až po mez pevnosti lisovaného materiálu. Zvyšováním tlaku roste i hustota výlisků a tím klesá náchylnost na nasávání atmosférické vlhkosti při skladování. Při lisování výlisků z organických hmot se používá tlak 55 až 355 MPa. Při působení tlaku na lisovaný materiál je důležitá zvolená kombinace a směru sil pro

dosažení správného rozložení vrstev a následného zpevnění výlisku. V procesu lisování je potřeba dosáhnout vyloučení ligninu z buněčné struktury lisovaného materiálu. Teplota pro vylučování ligninu z buněčné struktury (je závislá na druhu dřeva) se pohybuje okolo 120 °C. Vliv teploty na kvalitu výlisků je dost podstatný, čím je vyšší teplota materiálu při lisování, tím menší tlak je nutný k vytvoření výlisků požadované kvality, zvýšení teploty se projevuje i lepší stálostí tvaru a delší trvanlivostí. Teplota je však omezena teplotou zapálení lisovaného materiálu, která se u dendromasy pohybuje kolem 240 °C, ale už před dosažením této teploty dochází k znehodnocování lisovaného materiálu vlivem úniku prchavých látek, které je potřeba v lisovaném výrobku zachovat, jinak by byla snížena výhřevnost paliva, jelikož prchavé látky jsou jednou z důležitých složek biopaliva z hlediska výhřevnosti. Konstrukteři lisů musejí počítat i s působením třecích sil, které zvyšují teplotu lisovaného materiálu. Výsledná kvalita výlisků závisí na konstrukci lisu a lisovací komory. Na kvalitu výlisků briket má vliv i délka ochlazovacího kanálu. Ochlazovací kanál volně navazuje na lisovací komoru a má o trochu větší průměr, než je průměr lisovací komory, tím dochází ke snížení tření a tlaku, který je o mnoho nižší než v lisovací komoře ale je ještě dostačující, aby zabránil rozpadu vylisovaného výrobku. V ochlazovacím kanálu dochází k ochlazení vylisovaného výrobku a tunutí ligninu (Matúš, 2007).

Existují tři základní typy lisovacích (briketovacích) technologií:

1) Lisování briket pomocí hydraulického lisu

Při briketování v hydraulickém lisu, dochází k lisování v uzavřené komoře celého obsahu materiálu potřebného na vytvoření jednoho výlisku najednou a to jedním stlačením pístu. Při tomto principu briketování je možné vytvářet různé tvary výlisků podle tvaru komory. Tyto tvary jsou však omezeny svojí délkou, kdy u delších výlisků kvalita zhutnění přestává být homogenní, vznikají trhliny ve struktuře výlisku a dosažený stupeň zhutnění není na požadované úrovni, čímž dochází k zhoršení mechanické pevnosti. Proto je nutné délku uzavřené komory volit takovou, aby vylisované brikety dosahovaly správné kvality (Matúš *et al.*, 2009). Brikety lisované pomocí hydraulického lisu jsou zpravidla méně konzistentní ve srovnání s briketami vyrobenými pomocí mechanického lisu. Hydraulické lisy pracují s menším tlakem lisování (Andert *et al.*, 2006; Ivanova, 2012).

2) Lisování briket pomocí mechanického lisu

U mechanických lisů je materiál dávkován do lisovací komory a pomocí lisovacího pístu dále protlačován přes lisovací válec, kde dochází k výdrži a postupnému ochlazení. Tímto způsobem je biomasa zhutňována do plného válcovitého nekonečného výlisku, který je následně dělený na požadovanou délku. Výlisek je tvořen lisováním materiálu pomocí přímočarého vratného pohybu pístu, čímž je každým stlačením pístu vytvořena jednotlivá vrstva (jeden plátek) výlisku. Soudržnost jednotlivých vrstev zajišťuje speciální tvar konce pístu, který jednotlivé vrstvy proráží a vytváří tak mezi následujícími částmi výlisku spoj tvarovaný stykem. U tohoto způsobu lisování briket pokud nejsou zachovány správné tlaky a teploty lisování, může docházet v místech spojů jednotlivých vrstev k poruchám soudržnosti a prasklinám, což snižuje mechanickou pevnost a strukturu výsledné brikety (Matuš *et al.*, 2009).

3) Lisování briket pomocí lisovací závitovky

Pomocí tohoto lisu se dosahuje nejlepší kvality výlisků. Technologie umožňuje různé tvary výlisků od klasického válce, po čtyřhranné popř. vícehranné tvary s vnitřní dírou nebo bez díry. Materiál není lisován po částech jako u mechanického lisu, ale je lisován kontinuálně tzn. nepřetržitě. Kontinuální lisování zabezpečuje vysoký stupeň zhutnění a vysoký stupeň mechanických znaků kvality (Matuš *et al.*, 2009).

Každý princip briketování má své výhody a nevýhody. Pro výrobce briket není vždy při nákupu briketovacího lisu rozhodující kvalita výlisku ale hlavně výrobní náklady na jednotku lisovaného materiálu a samozřejmě cena samotného lisovacího stroje. Každý výrobce, který chce být na trhu s biopalivem konkurenceschopný, musí velmi dobře zvážit všechny výhody a nevýhody a nakoupit to správné lisovací zařízení.

Rozlišit materiál, ze kterého je biomasa složena, a poznat tak rozdíl mezi textilem, dřevem nebo papírem dokáže každý, ale málo z nás si dokáže uvědomit, jaké jsou rozdíly například mezi dřevem listnatých a jehličnatých dřevin z hlediska charakteristiky - chemického složení, hustoty, pórovitosti, hmotnosti, struktury atd., které jsou důležité pro kvalitu procesu zpracování lisováním biopaliva. Chemické složení dřeva je mezi jednotlivými dřevinami dost rozdílné. Rozdíl v chemickém složení je nejen mezi skupinou listnatých a jehličnatých stromů, ale i mezi rostlinami jednotlivých skupin. V průměru rostliny obsahují asi 25 % ligninu a cca 75 % uhlovodíku (celulóza a hemicelulóza) nebo cukru (Matuš &

Křižan, 2008). Uhlovodíky spolu s cukrem se spojují do dlouhých řetězců polymerů, které dávají rostlinám potřebnou pevnost. Lignin působí jako lepidlo, držící řetězce polymerů pospolu. Každý druh dřeva má svoji specifickou hustotu, která významně ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Při lisování biopaliva je předpokladem, že při vyšší hustotě materiálu je výlisek lépe zhuštěn. Aby bylo možno produkovat kvalitní výlisky ze všech druhů dřeva, musíme respektovat veškeré znalosti resp. zákonitosti a řídit se jimi (Křižan & Matúš, 2009). Každý druh dendromasy má své specifické vlastnosti, lišící se stavbou a složením. Například lisování hmoty z kůry, vyžaduje menší tlak, než lisování hmoty z čistého dřeva, pro dosažení stejné hustoty výlisku. Také platí, že při lisování hmoty z tvrdého dřeva jsou potřeba menší tlaky než při lisování dřevní hmoty z měkkého dřeva (Šoos, 2000).

2.2.6 Kvalita briket a standardizace

Výroba briket a pelet se řídí souborem norem, které dbají na kvalitu briket a pelet.

Kvalitu briket lze hodnotit podle různých technických parametrů. K obecnému posuzování kvality jsou zapotřebí technické normy. Normy specifikují nejen požadavky na jednotlivé výrobky, ale také se zabývají metodami pro stanovení jejich kvality testováním. Na základě předepsaných norem, které stanovují hodnoty pro jednotlivé fyzikální a chemické vlastnosti, může probíhat kontrola kvality briket. V letech minulých existovali pouze národní normy, např.: německý DIN, rakouský ÖNORM nebo český ČSN P CEN / TS a další. Tyto normy byly nahrazeny evropskými normami: DIN EN 14961, ÖNORM EN 14961 a ČSN EN 14961, které vyšly v lednu 2010. Certifikační systém je založen na společné evropské normě ENplus, tzn., že například německá norma DIN 51731 byla nahrazena normou DIN EN 14961, která je platná i v ČR jako norma ČSN EN 14961. Na základech původní německé normy DIN byla postavena společná evropská norma ENplus. Normativní hodnoty kvality pro třídy briket se musejí uvádět spotřebitelům vždy a informují zpravidla i o chemickém ošetření či přísadách v biomase. Producent je povinný podávat zprávu národní asociaci, která výhradně zastupuje organizaci European Pellet Council (EPC) v ČR, o kvalitě dřevěných briket jednou měsíčně pro statistické účely (Kotlánová, 2009). Podle norem některých států EU by měly být brikety vyrobeny pouze z čistého přírodního dřeva, nebo kůry, případě s malou příměsí stébelnin (max. 20 %) a přírodního pojiva. V těchto zemích se proto často vyrábějí brikety ze stébel, ale

v porovnání s dřevěnými briketami jsou méně používané (problematický je větší obsah chloru, který se do rostlin dostává z hnojiv), nebo směsné brikety ze stébel s přídavkem uhelného, nebo vápenného prachu pro zvýšení jejich výhřevnosti a omezení nežádoucích vlastností popela (Klobušník, 2003). Pro hodnocení tuhých biopaliv byla stanovena česká norma ČSN 14691. Cílem této normy je poskytnout jednoznačné a jasné zásady klasifikace tuhých biopaliv a sloužit jako nástroj pro co nejefektivnější obchodování s biopalivy a také umožnit dobré porozumění mezi prodejcem a odběratelem. Norma obsahuje tabulky pro hodnocení tuhých biopaliv.

Normu ČSN EN 14691 rozlišujeme na 6 částí:

- 1) ČSN EN 14961-1 TB - Specifikace a třídy paliv - Část 1: Obecné požadavky (UNMZ, 2010)
- 2) ČSN EN 14961-2 TB - Specifikace a třídy paliv - Část 2: Dřevní pelety pro maloobchodatele (UNMZ, 2011)
- 3) ČSN EN 14961-3 TB- Specifikace a třídy paliv - Část 3: Dřevní brikety pro maloobchodatele (UNMZ, 2011)
- 4) ČSN EN 14961-4 TB- Specifikace a třídy paliv - Část 4: Dřevní štěpka pro maloobchodatele vydána v listopadu (UNMZ, 2011)
- 5) ČSN EN 14961-5 TB- Specifikace a třídy paliv - Část 5: Palivové dřevo pro maloobchodatele vydána v srpnu (UNMZ, 2011)
- 6) ČSN EN 14961-6 TB- Specifikace a třídy paliv - Část 6: Nedřevní pelety pro maloobchodatele vydána v srpnu (UNMZ, 2012)

Nejdůležitější aspekty pro posuzování kvality briket obsahuje norma:

ČSN EN 1496-1: Specifikace a třídy paliv - Část 1: Obecné požadavky.

Tato česká verze evropské normy stanovuje kvalitu pro třídy a specifikace tuhých biopaliv. V normě se nacházejí tabulky pro hodnocení TB podle obchodní verze, původu materiálu a dílčích specifikací TB. Součástí normy jsou fyzikálně - chemické vlastnosti TB, příklady různých odchýlení od kvality TB a přepočty výhřevnosti pro odlišné situace.

1) Požadavky na kvalitu tuhých biopaliv - normativní hodnoty:

- průměr D: 40 mm až >125 mm (D40 až D125+)
- délka L: v mm ≤ 50 mm až >400 mm (L50 až L400+)
- vlhkost M: ≤ 10 % až ≤ 15 % (M10 až M15)
- popel A: $\leq 0,5$ % až >10 % (A0,5 až A10+)
- hustota částic DE (particle density): $>0,8$ g/cm³ až 1,2 g/cm³ (DE0,8 až DE1,2)
- výhřevnost v původním stavu Q v MJ/kg nebo kWh/m³
- mechanická odolnost DU (mechanical durability): ≥ 95 % až <90 % (DU95 až DU90)

2) Požadavky na kvalitu tuhých biopaliv - informativní hodnoty (brikety, pelety, dřevní štěpky, piliny, hobliny, kůra):

- dusík: $N \leq 0,3$ % až > 3 % při chemickém ošetření normativní
- síra: $S \leq 0,02$ % až > 0,2 % při chemickém ošetření normativní tavitelnost popela DT (deformation temperature)
- chlor: $Cl \leq 0,02$ % až >0,1 % (Cl0,02 až Cl0,1+) (ČSN EN 14961-1)

3) Požadavky na kvalitu tuhých biopaliv - informativní hodnoty (kulatiny, palivové dřevo):

- hustota energie E [kW/m³ nebo kWh/kg]
- povrch odřezku, podíl nařezaného paliva
- plíseň a hniloba

4) Požadavky na kvalitu tuhých biopaliv - informativní hodnoty (balíky slámy, lesknice a sloní trávy):

- DT (deformation temperature)
- metoda výroby
- typ svázání balíku

5) Požadavky na kvalitu tuhých biopaliv - informativní hodnoty (energetické traviny, pokrutiny, ovocná dužnina a semena):

- Cl, S, DT, BD (bulk density), F (ČSN EN 14961-1)

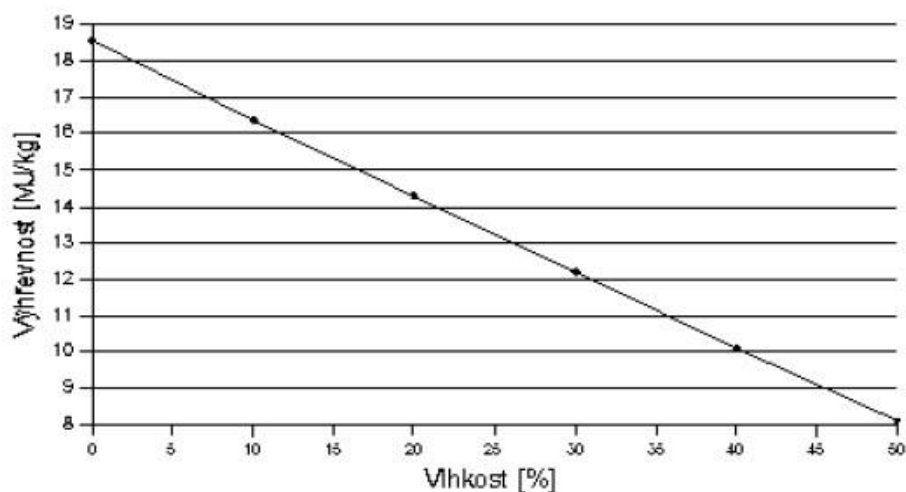
6) Obsah popela a limity stopových prvků v briketách ze dřeva a ze stébelnin jsou upraveny normami:

- ČSN EN 15289 obsah celkové síry a chloru (UNMZ, 2011)
- ČSN EN 15297 limity stopových prvků - As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V a Zn (UNMZ, 2011)

Faktory ovlivňující kvalitu briket:

1) Vlhkost

Před zpracování biomasy je velmi důležité znát vlhkost biomasy, způsoby vlastního stanovení vlhkosti a případné postupy následného vysušení biomasy. Obsah vlhkosti může mít vliv na mechanickou odolnost a hustotu briket díky lepšímu uplatnění přírodních pojiv. Podle Kaliyan & Morey (2009) bylo zjištěno u vzorků pšeničné slámy, jejichž vlhkost byla v rámci pokusu v rozmezí 10 - 15 %, že při zvýšení vlhkosti vzrostla mechanická odolnost pelet z 73 % na 81 %. Vlhkost 8 - 12 % je považována za optimální a nižší vlhkost zpravidla vede ke zhoršení kvality produktu (Oberberger & Thek, 2004; Kaliyan & Morey, 2009). Dále lze ze znalosti vlhkosti usoudit, jakou bude mít biomasa přibližně výhřevnost (viz Graf 1).



Graf 1: Závislosti výhřevnosti biomasy na vlhkosti (zdroj: Baláš & Moskalík, 2009)

Vlhkost je v biomase různě vázána:

- voda chemicky vázaná
- voda volná (kapilární)
- voda vázaná (hygroskopická) (Baláš & Moskalík, 2009)

2) Mechanická odolnost a hustota briket

Mechanické ukazatele jsou dané vlastnostmi lisovaného materiálu. Výlisky musí být soudržné, aby nevznikaly trhliny a nedocházelo k odrolování částic, musí proto mít dobrou

hustotu a odrol, jejichž minimální hodnoty stanovují normy. Čím větší hustota, tím větší pevnost a životnost. Výlisky s větší hustotou mají delší dobu hoření což je pro palivo důležitá vlastnost (Matuš *et al.*, 2009). Důležitějším parametrem je vlhkost počátečních vstupů, ta má velký vliv na mechanickou odolnost. Odrol jemných částic a frakcí je způsoben nedostatečnou mechanickou odolností. Brikety se špatnou mechanickou odolností zvyšují produkci popílku a mají nižší účinnost spalování. Dalším důležitým parametrem je hustota briket, která ovlivňuje jak mechanickou odolnost, tak má vliv i na manipulační vlastnosti a hlavně na proces spalování (Obenberger & Thek, 2004; Temmermana *et al.*, 2006). Mechanická odolnost a hustota jsou nejdůležitější parametry popisující fyzikálně - mechanické vlastnosti slisovaných paliv. Brikety a pelety jsou náchylné k mechanickému opotřebení, což vede ke vzniku jemných částic nebo prachu během přepravy, překládky a skladování. Tyto jemné částice působí nehomogenitu při spalování, zvýšenou prašnost při manipulaci a dokonce mohou způsobit samovznícení vlhkých briket nebo pelet při skladování. Mechanická odolnost tedy vyjadřuje kvalitu slisovaných paliv, která popisuje slisované palivo z hlediska schopnosti zůstat neporušené vůči nárazům anebo odrolu v důsledku manipulace a přepravy.

Hustota částic je další velice důležitý parametr, který se běžně považuje za měřítko mechanické odolnosti, tzn. že zpravidla platí, že vyšší hustota vede k vyšší mechanické odolnosti. Tento předpoklad však nemusí platit (Obenberger & Thek, 2004; Temmermana *et al.*, 2006).

3 Cíl práce

Cílem práce byla analýza vlivu hrubosti frakce lisovaného materiálu a průměru válce lisu na mechanickou odolnost a hustotu briket.

Za účelem splnění hlavního cíle výzkumu byl proveden sběr materiálu z ozdobnice čínské, výroba 12- ti vzorků briket a stanovení základních fyzikálně - mechanických parametrů. Specifickým cílem bylo porovnání mechanických vlastností dvou odrůd ozdobnice - *Miscanthus sinensis* a *M. x giganteus* na základě získaných hodnot.

Splnění hlavního cíle by mohlo přinést nové poznatky o faktorech ovlivňujících kvalitu briket a přispět k dalšímu studiu výroby briket z ozdobnice a i jiných rostlinných materiálů.

4 Materiál a metodika

4.1 Sklizeň ozdobnice čínské

Sklizeň obou druhů rostlin ozdobnice čínské (*Miscanthus sinensis* a *M. x giganteus*) byla provedena v dubnu 2013, rostliny byly přes léto uskladněny v plechovém skladu areálu ČZU. V předchozích 6- ti letech byla rostlinná biomasa této ozdobnice pěstována bez dalších vstupů, pravidelně sklízena a využívána k výzkumu. Sklizeň byla provedena ručně pomocí plotostříhu Husquarna 123 HD 65 X (viz *Obrázek 1*). Jarní sklizeň je vzhledem k potřebné nízké vlhkosti rostlin pro zpracování výhodnější než podzimní sklizeň a dosušení rostliny přes léto v plechovém, vzdušném a suchém skladu je naprosto ideální. K dispozici bylo celkem cca 200 kg, tzn. od každé rostliny cca 100 kg nasušeného materiálu a toto množství bylo pro výzkum dostatečné.



Obr. 1: *M. x giganteus* a *Miscanthus sinensis* před sklizní (foto: Přemysl Hlatký)

4.2 Drcení materiálu do tří velikostí frakce

Drcení rostlin proběhlo ve dnech 24. - 25. října 2013 na kladívkovém drtiči biomasy typu Green Energy 9FQ40-5610 s elektrickým motorem 5,5 kW a hodinovou vydatností 500 - 800 kg/h nadrcené biomasy (viz *Obrázek 2*). Drtič je umístěn v areálu TF ČZU. Obě odrůdy ozdobnice byly nadrceny do tří hrubostí frakce. K drcení byla použita tři síta a to síto s otvory 3,8 mm, 8 mm a 12 mm. Nadrcením bylo získáno celkem 6 vzorků drceného materiálu (viz *Obrázek 3*), tzn. od každé rostliny 3 vzorky nadrceného materiálu po 30 kg.



Obr. 2: Drtič Green Energy
(foto: Přemysl Hlatký)



Obr. 3: Nadrcený *Miscanthus* v násypce lisu
(foto: Přemysl Hlatký)

4.3 Stanovení vlhkosti materiálu

Měření vlhkosti nadrceného materiálu a vhodnosti pro lisování briket byla zjištěna v souladu s ČSN P CEN/TS 14774-1 (-2, -3) 24. října 2013 v laboratoři biopaliv FTZ ČZU pomocí pece Memmert UFE 500 (viz Obrázek 4) a váhy Kern EMB 600-2 (viz Obrázek 5). Memmert UFE 500 je univerzální pec určená pro oblast výzkumu a vědy, která má naprosto přesnou a spolehlivou regulaci výkonu. Teplota v peci je kontrolována pomocí dvou navzájem se monitorujících čidel PT100 třída A. Pec je vybavena 7 denním programem a časovačem od 1 minuty do 999 hodin, průtok čerstvého vzduchu v sušící komoře je plynule regulován pomocí procesního regulátoru v krocích po 10 %, teplotní rozsah je +30 až +250 °C.

Do pece je možné zasunout dvě nerezové mřížky, na které lze pokládat sušený materiál, pec je vybavena třemi displeji, kde lze kontrolovat nastavení různých parametrů. Pec je vyrobena z nerezové ocele, vnitřní objem je 108 dm³, vnější rozměry Š x V x H jsou 560 x 480 x 400 mm, hmotnost pece je 56 kg.

Princip měření vlhkosti

Podle ČSN EN 14774-1 bylo vždy malé množství materiálu vzorku nasypáno do jednotlivých skleněných misek, které byly zváženy a umístěny do pece na nerezové mřížky (police), na peci se byla nastavena teplota 105 °C a po 8 hodinách sušení byly misky se vzorky převáženy. Z hmotnosti vysušených vzorků byla odečtena původní hmotnost nevysušených vzorků.

Měření vlhkosti bylo po zjištění úbytku vody spočítáno pomocí vzorce vycházejícího z gravimetrické metody:

$$w = [(m_w - m_d) / m_w] \times 100, \quad \%$$

kde: m_w = hmotnost vlhkého materiálu

m_d = hmotnost vysušeného materiálu

Byla změřena vlhkost nadrceného materiálu u obou rostlin, od každé rostliny dva vzorky, tzn. celkem 4 vzorky.



Obr. 4: Pec Memmert UFE 500 pro stanovení vlhkosti materiálu (foto: Přemysl Hlatký)

Obr. 5: Váha Kern EMB 600-2 (foto: Přemysl Hlatký)

4.4 Briketování materiálu na dvou lisech

Brikety byly lisovány 28. - 30. října 2013 v dílně M16/4 TF. K lisování briket byly použity 2 lisy od firmy Brikliis (Malšice, Česká republika), značky **Brikstar CS25 s příkonem 4,4 kW** (viz Obrázek 6) a **Brikstar 30 - 12 s příkonem 4,4 kW** (viz Obrázek 7). Jedná se o hydraulické pístové lisy, které jsou schopny vyrábět brikety o průměru 50 nebo 65 mm a délky 30 - 60 mm. Oba lisy mají stejné technicko - provozní podmínky a liší se pouze velikostí násypky (u Brikstar CS25 je velikost 0,7 m³ a u Brikstar 30 - 12 je velikost násypky 1 m³), hmotností (důvodem je pouze velikost násypky), elektrickým příkonem, který má vliv pouze na množství vyrobených briket za hodinu.



Obr. 6: Lis BrikStar CS25
(foto: Přemysl Hlatký)



Obr. 7: Lis BrikStar 30 - 12
(foto: Přemysl Hlatký)

I když je provozní tlak, který by mohl ovlivnit kvalitu vylisované brikety u obou lisů stejný. Lisování briket o průměru 50 mm bylo provedeno na lisu Brikstar CS25 a na lisu Brikstar 30 - 12 bylo provedeno lisování briket o průměru 65 mm. Briketováno tedy proběhlo na dvou lisech s průměrem válce 50 a 65 mm 12- ti vzorků briket o 3 různých velikostech frakce, tím byla zajištěna nemožnost ovlivnění výsledků výzkumu.

Nevýhodou těchto lisů je, že lisovací komora je z jedné strany uzavřena briketou, která byla právě vytlačena z lisovací komory. Intenzita tlaku závisí především na vlastnostech materiálu, např. papír není tolik kluzký, a proto papírové brikety byly lepší kvality. Dřevo je více kluzké, proto dřevěné brikety byly horší kvality (Brožek *et al.*, 2012).

Tab. 2: Technické parametry lisů Brikstar CS25 a Brikstar 30 - 12 (zdroj: www.brikklis.cz)

Technické údaje		
typ lisu	BrikStar CS25; násypka 0,7 m ³	BrikStar 30 - 12; násypka 1 m ³
výkon	20 - 40 kg/h	20 - 40 kg/h
instalovaný el. příkon	4,4 kW	4,4 kW
hmotnost lisu	720 kg	790 kg
max. vlhkost materiálu	8-15 hm%	8-15 hm%
měrná hmotnost brikety	900 – 1100 kg/m ³	900 – 1100 kg/m ³
max. provozní tlak	180 bar (18MPa)	180 bar (18MPa)

max. provozní teplota	60 °C	60 °C
prac. prostředí stroje	+5 až +35 °C	+5 až +35 °C
napájecí napětí zařízení	400 V	400 V
ovládací napětí	24 V	24 V
krytí el. prvků	IP54	IP54
hlučnost zařízení	77 dB	77 dB
doba provozu lisu	1 směna - omezeno teplotou oleje	1 směna - omezeno teplotou oleje

4.5 Stanovení mechanické odolnosti briket

K dispozici bylo 12 vzorků briket, které byly ještě rozděleny do 5- ti dílčích vzorků (DV) po 2 kg ($\pm 0,1$ kg). Vzorky byly hodnoceny z hlediska mechanické odolnosti briket v souladu s normou ČSN EN 15210-2:2010:

- *Miscanthus sinensis*, síto 3,8 mm, průměr lisovacího válce 50 mm, 1. až 5. DV
- *Miscanthus sinensis*, síto 8 mm, průměr lisovacího válce 50 mm, 1. až 5. DV
- *Miscanthus sinensis*, síto 12 mm, průměr lisovacího válce 50 mm, 1. až 5. DV
- *Miscanthus sinensis*, síto 3,8 mm, průměr lisovacího válce 65 mm, 1. až 5. DV
- *Miscanthus sinensis*, síto 8 mm, průměr lisovacího válce 65 mm, 1. až 5. DV
- *Miscanthus sinensis*, síto 12 mm, průměr lisovacího válce 65 mm, 1. až 5. DV
- *M. x giganteus*, síto 3,8 mm, průměr lisovacího válce 50 mm, 1. až 5. DV
- *M. x giganteus*, síto 8 mm, průměr lisovacího válce 50 mm, 1. až 5. DV
- *M. x giganteus*, síto 12 mm, průměr lisovacího válce 50 mm, 1. až 5. DV
- *M. x giganteus*, síto 3,8 mm, průměr lisovacího válce 65 mm, 1. až 5. DV
- *M. x giganteus*, síto 8 mm, průměr lisovacího válce 65 mm, 1. až 5. DV
- *M. x giganteus*, síto 12 mm, průměr lisovacího válce 65 mm, 1. až 5. DV

Ve dnech 31. října až 20. listopadu 2013 bylo provedeno přesné vážení a číselné označení jednotlivých dílčích vzorků briket v laboratoři biopaliv FTZ ČZU (viz Obrázek 8). Vzorky briket různých velikostí frakce a průměru válce lisu byly tedy ještě rozděleny do 5- ti dílčích vzorků po 2 kg ($\pm 0,1$ kg) a následně očíslovány lihovým fixem (viz Obrázek 9). Jednotlivé brikety byly zváženy s pomocí váhy Kern a to celkem 2x před odrolením a po odrolení v bubnu pro stanovení mechanické odolnosti. Následně byly jednotlivé dílčí

vzorky daných vzorků v dílně M16/4 TF ČZU vkládány do bubnu (viz *Obrázek 10* a *Obrázek 11*). Před zahájením odrolování bylo připraveno celkem 12 vzorků briket, tak že každý vzorek byl dále rozdělen do 5- ti dílčích vzorků. Každá zkušební briketa byla podrobena řízeným nárazům na stěny bubnu a ocelovou přepážku a byla vystavena vzájemnému narážení briket o sebe v definovaném otáčejícím se zkušebním bubnu po dobu 5 minut nebo po 105- ti ($\pm 0,5$) otáčkách. Při otáčení v bubnu dochází k oddělování frakcí a každá briketa ztrácí na své hmotnosti. Z rozdílů hmotností před odrolením a po odrolení se vypočítá mechanická odolnost. Průměrná hodnota mechanické odolnosti byla vypočtena z výsledků 5 dílčích vzorků s přesností na 0,1 %. Na základě získaných hodnot byla stanovena mechanická odolnost briket před odrolením a po odrolení. Na konci pokusu byly veškeré údaje zpracovány v MS Excel do přehledných tabulek, pomocí kterých byly vyhodnoceny změny hmotností jednotlivých briket před odrolením a po odrolení.



Obr. 8: Měření délek, průměrů a vážení vzorků briket (foto: Přemysl Hlatký)



Obr. 9: Dílčí vzorek briket po zvážení (foto: Přemysl Hlatký)

Pro účel výzkumu byly použity definice a metodika z české verze evropské normy ČSN EN 15210-2:2010. Tato norma je kromě jiného určena k přesnému stanovení mechanické odolnosti briket. Mechanickou odolností se měří odolnost slisovaných paliv vůči nárazům anebo odrolu v důsledku přepravy a následných manipulací. Norma definuje požadavky a metodiku pro stanovení mechanické odolnosti briket. Norma je určena pro osoby a organizace, které vyrábějí, plánují, prodávají, instalují nebo používají stroje, zařízení, nástroje a celé komplexy výrobních zařízení vztahujících se k briketám a všem osobám a organizacím, které se zapojují do výroby, nákupu, prodeje a používání briket.

Přístroje a pomůcky:

1) Buben pro stanovení mechanické odolnosti (viz *Obrázek 10*) je ocelový buben ve tvaru válce se jmenovitým objemem 160 l a následujícími rozměry:

a) vnitřní délka a hloubka (598 ± 8) mm

b) vnitřní průměr (598 ± 8) mm

Buben musí být vyroben z ocelového plechu minimální tloušťky 1 mm. Vnitřní povrch bubnu musí být hladký a bez jakýchkoliv nerovností povrchu jako vyvýšenin nebo rýh.

Buben pro mechanickou odolnost je vybaven pravoúhlou ocelovou přepážkou s následujícími rozměry:

c) délka: (598 ± 8) mm

d) výška: (200 ± 2) mm

e) tloušťka: 1 mm (ČSN EN 15210-2)

Výsledné hodnoty, které byly zjištěny během výzkumu při vlastním odrolu byla zadány do vzorce mechanické odolnosti, pomocí kterého byla stanovena na základě hmotnosti před odrolem a po odrolu mechanická odolnost briket.

Mechanickou odolnost (DU) vypočteme podle následujícího vzorce:

$$\mathbf{DU = m_A/m_E \times 100, \quad \%}$$

kde: m_A = hmotnost před odrolem

m_E = hmotnost po odrolu

2) Váha Kern EMB 600-2 je velice přesná stolní váha s digitální stupnicí, váží s přesností na 0,01 g, váhový rozsah 0,01 - 600 g, rozměry 240 x 170 x 39 mm (D x Š x V), napájení 9 V baterií. Váhu Kern byla použita při stanovení přesné hmotnosti v laboratoři biopaliv FTZ ČZU (viz *Obrázek 5*).



Obr. 10: Buben pro stanovení DU
(foto: Přemysl Hlatký)



Obr. 11: Buben s dílčím vzorkem *Miscanthus*
(foto: Přemysl Hlatký)

4.6 Stanovení hustoty briket

Při stanovení hustoty briket byly k dispozici ty samé vzorky jako v předchozím pokusu při určení mechanické odolnosti. Celkem bylo tedy k dispozici 12 vzorků briket, které byly ještě rozděleny do 5- ti dílčích vzorků (DV) po 2 kg ($\pm 0,1$ kg).

Ve dnech 31. října až 20. listopadu 2013 bylo provedeno přesné měření délek, průměrů a číselné označení jednotlivých briket dílčích vzorků v laboratoři biopaliv FTZ ČZU. Délky a průměry byly měřeny pomocí posuvného měřidla (šuplery) a to celkem 2x před odrolením a po odrolení. Ze získaných hodnot bylo provedeno vyhodnocení změn rozměrů délek a průměrů jednotlivých briket před odrolením a po odrolení. Následně byla na základě naměřených hodnot stanovena průměrná hustota briket před odrolením a průměrná hustota briket po odrolení. Na konci pokusu byly veškeré údaje zpracovány v MS Excel do přehledných tabulek, pomocí kterých byly vyhodnoceny změny hustoty briket před odrolením a po odrolení.

Hustotu (ρ) vypočteme podle následujícího vzorce:

$$\rho = m/V, \quad \text{kg/m}^3$$

kde: m = hmotnost

V = objem

Kde objem (V) vypočteme jako:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot v, \quad \text{m}^3$$

kde: r = poloměr válce

v = výška válce

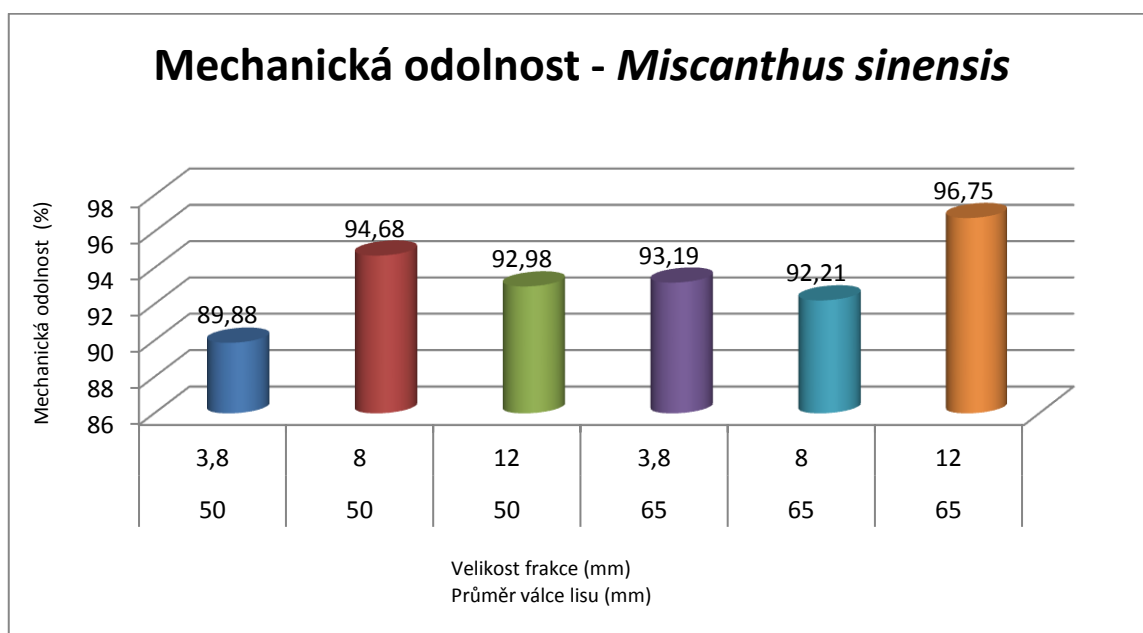
5 Výsledky a diskuze

5.1 Hodnocení vlhkosti testované biomasy

Průměrná hodnota vlhkosti vzorku *Miscanthus sinensis* byla 13,01 % a průměrná hodnota vlhkosti vzorku *M. x giganteus* byla 13 %. Údaje získané z měření vlhkosti byly zpracovány do přehledné tabulky (viz Příloha 2). Vlhkost kolem 13 % je už kritická vlhkost, při níž lze pomocí lisu, který byl k dispozici, úspěšně brikety lisovat. Při větší vlhkosti, by pravděpodobně docházelo k vylisování nekvalitních briket a výzkum by nemohl být proveden. Na druhou stranu výsledky vlhkosti u obou druhů testované biomasy byly skoro stejné, což umožnilo ideálně porovnat kvalitu briket z hlediska mechanické odolnosti a hustoty. Kritické hodnoty vlhkosti jsou v rozmezí 10 - 15 % (Pobedinschi *et al.*, 2009; Havrland *et al.*, 2011; Ivanova, 2012). Optimální hodnoty vlhkosti jsou mezi 4 - 10 % a při těchto hodnotách vlhkosti může být dosaženo nejlepších fyzikálně - mechanických vlastností briket.

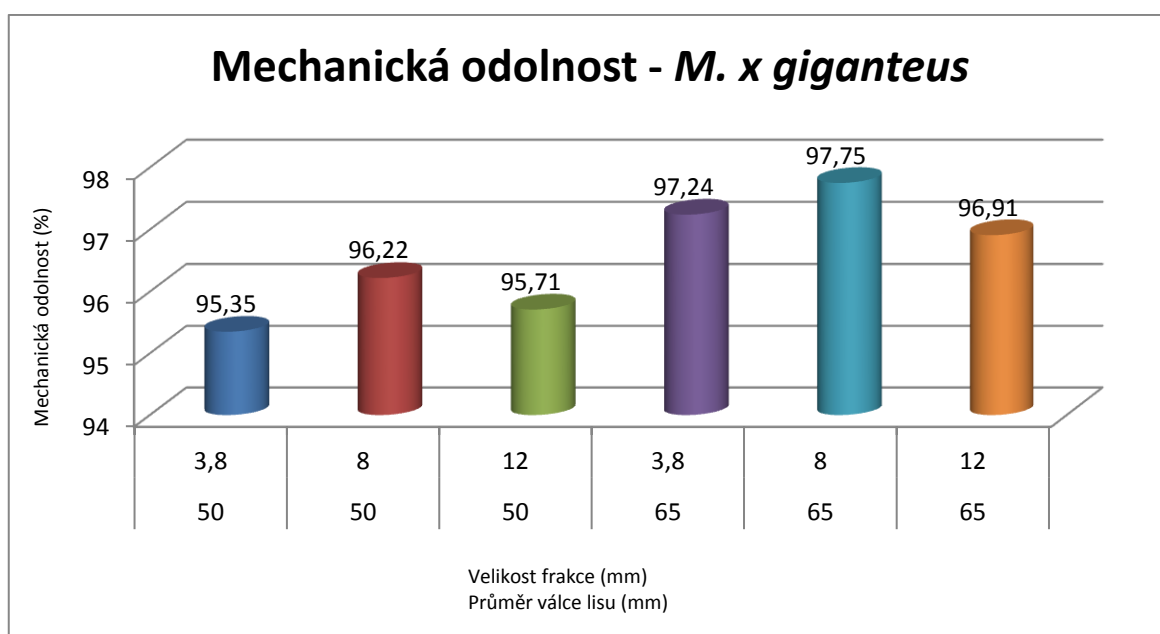
5.2 Analýza vlivu velikosti frakce nadrceného materiálu a průměru válce lisu na mechanickou odolnost briket

Údaje získané z výzkumu mechanické odolnosti byly zpracovány do přehledných tabulek (viz Příloha 3 a Příloha 4).



Graf 2: Grafické zobrazení mechanické odolnosti vzorků ozdobnice *Miscanthus sinensis*

Porovnáním grafů mechanické odolnosti (viz Graf 2 a Graf 3) je patrné, že parametry mechanické odolnosti jsou podobné vzhledem k velikosti frakce a průměru lisovacího válce u obou odrůd ozdobnice. Mechanická odolnost briket o velikosti frakce 8 mm je všeobecně velice dobrá. Za výjimku mechanické odolnosti lze považovat *Miscanthus sissenensis* u velikosti frakce 8 mm a průměru lisovacího válce 65 mm, která vykazuje celkem druhou nejnižší hodnotu mechanické odolnosti (viz Graf 2), a proto má velký vliv na konečné výsledky. Ivanova (2012) také zjistila, že brikety vyrobené z čistého *Miscanthus sissenensis* o velikosti frakce 8 mm a průměru lisovacího válce 65 mm vykazovaly v porovnání s ostatními vzorky nejnižší hodnoty mechanické odolnosti o to 74,4 %. Vzorky *Miscanthus sissenensis* o velikost frakce 8 mm a průměru lisovacího válce 50 mm Ivanova (2012) nezkoumala. Vzorky s velikostí frakce 12 mm měly v konečném součtu mechanických odolností jednotlivých frakcí obou odrůd ozdobnice podle konečných výsledků mechanickou odolnost nejvyšší. Důležitým aspekt, který je třeba vzít v úvahu, jsou skutečnosti, že vstupní nadrcený materiál měl kritické hodnoty vlhkosti (viz Příloha 2), a že tlak v lisovacích komorách lisů je nízký (Brožek *et al.*, 2012).



Graf 3: Grafické zobrazení mechanické odolnosti vzorků ozdobnice *M. x giganteus*

Dle normy ČSN EN 14961-1 se hodnoty mechanické odolnosti briket rozdělují do následujících kategorií:

- DU95, kde mechanická odolnost částic je ≥ 95 %

- DU90, kde mechanická odolnost částic je $< 95 \%$ a $\geq 90 \%$
- DU85, kde mechanická odolnost částic je $< 90 \%$ a $\geq 85 \%$

Z výzkumu vyplývá, že:

- Více než polovina z 12- ti různých vzorků měla mechanickou odolnost vyšší nebo rovnu 95 % a tj. celkem 7 vzorků:

M. x giganteus, velikosti frakce 3,8 mm (průměr lisovacího válce 50 mm)

M. x giganteus, velikosti frakce 3,8 mm (průměr lisovacího válce 65 mm)

M. x giganteus, velikosti frakce 8 mm (průměr lisovacího válce 50 mm)

M. x giganteus, velikosti frakce 8 mm (průměr lisovacího válce 65 mm)

M. x giganteus, velikosti frakce 12 mm (průměr lisovacího válce 50 mm)

M. x giganteus, velikosti frakce 12 mm (průměr lisovacího válce 65 mm)

Miscanthus sinensis, velikosti frakce 12 mm (průměr lisovacího válce 65mm)

- Celkem 4 vzorky vykazovaly mechanickou odolnost vyšší nebo rovnu 90 % a nižší než 95 %:

Miscanthus sinensis, velikost frakce 3,8 mm (průměr lisovacího válce 65mm)

Miscanthus sinensis, velikosti frakce 8 mm (průměr lisovacího válce 50 mm)

Miscanthus sinensis, velikost frakce 8 mm (průměr lisovacího válce 65 mm)

Miscanthus sinensis, velikost frakce 12 mm (průměr lisovacího válce 50 mm)

- 1 vzorek vykazoval mechanickou odolnost vyšší nebo rovnu 85 % a nižší než 90 %:

Miscanthus sinensis, velikost frakce 3,8 mm (průměr lisovacího válce 50 mm)

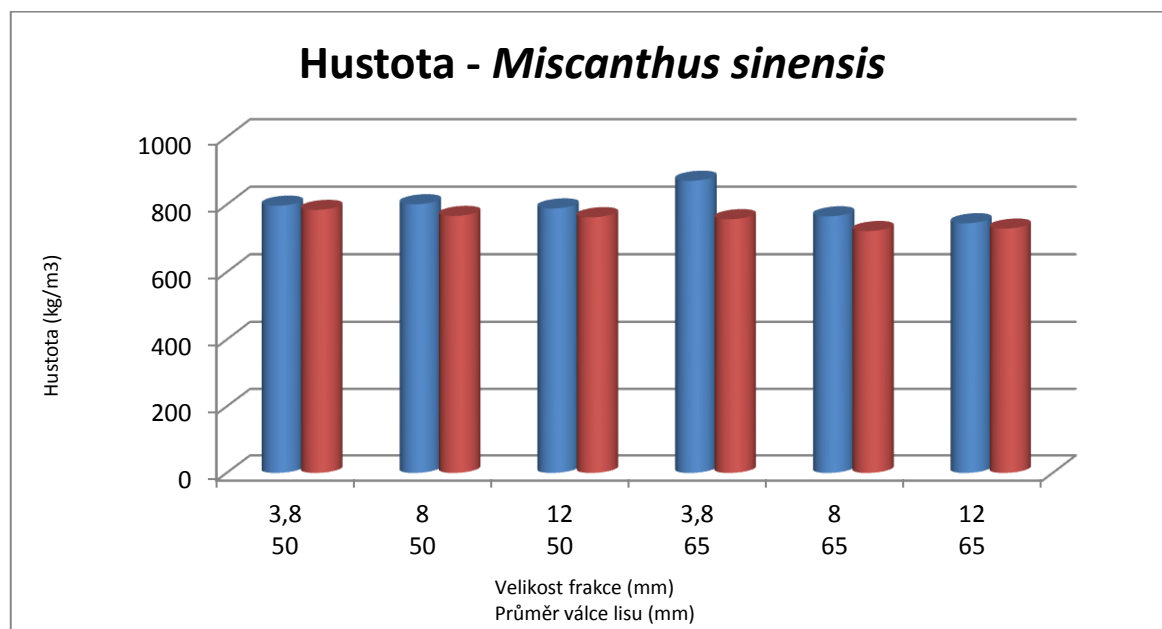
Z výsledků měření mechanické odolnosti je patrné, že nejnižší mechanickou odolnost měly vzorky ozdobnice o velikosti vstupní frakce 3,8 mm. Vzorky ozdobnice o velikosti frakce 12 mm byly v průměru mechanicky odolnější než vzorky ozdobnice o velikosti frakce 3,8 mm a 8 mm. Brikety o průměru 65 mm u obou vzorků ozdobnice vykazovaly vyšší hodnoty mechanické odolnosti. Celkově nejvyšší mechanickou odolnost vykazovaly u obou odrůd ozdobnice vzorky o velikosti frakce 12 mm a průměru lisovacího válce 65 mm. Naopak nejnižší mechanickou odolnost vykazovaly u obou odrůd ozdobnice vzorky o velikosti frakce 3,8 mm a průměru lisovacího válce 50 mm. Tyto skutečnosti lze vysvětlit tím, že u briket o velikosti frakce 12 mm, podle subjektivního pozorování, vznikalo méně trhlin na bočních plochách a horní ploše briket. V těchto trhlinách na bocích a na horní straně docházelo v důsledku porušení homogenity brikety při odrolování ke

zvýšenému odrolu částic a občas i k celkovému rozpůlení brikety. Vzorky briket ozdobnice o velikosti frakce 12 mm byly kompaktnější na horní straně a měly méně trhlin na bočních plochách.

Je třeba konstatovat, že výsledky výzkumu ukázaly všeobecně velmi slušné hodnoty mechanické odolnosti briket z ozdobnice, kde nejnižší hodnota byla 89,88 % (brikety z *Miscanthus sinensis* o velikosti vstupní frakce materiálu 3,8 mm, vyrobené na briketovacím lisu s průměrem válce 50 mm). Všechny zkoumané vzorky briket na bázi *M. x giganteus* se zařazují do nejlepší kategorie kvality s mechanickou odolností vyšší než 95 %. Brikety z odrůdy *M. x giganteus* jsou celkem odolnější než brikety z *M. sinensis*. Nejvyšší hodnotu mechanické odolnosti mají brikety z *M. x giganteus* o velikosti vstupní frakce 8 mm a s průměrem válce briketovacího zařízení 65 mm (97,75 %).

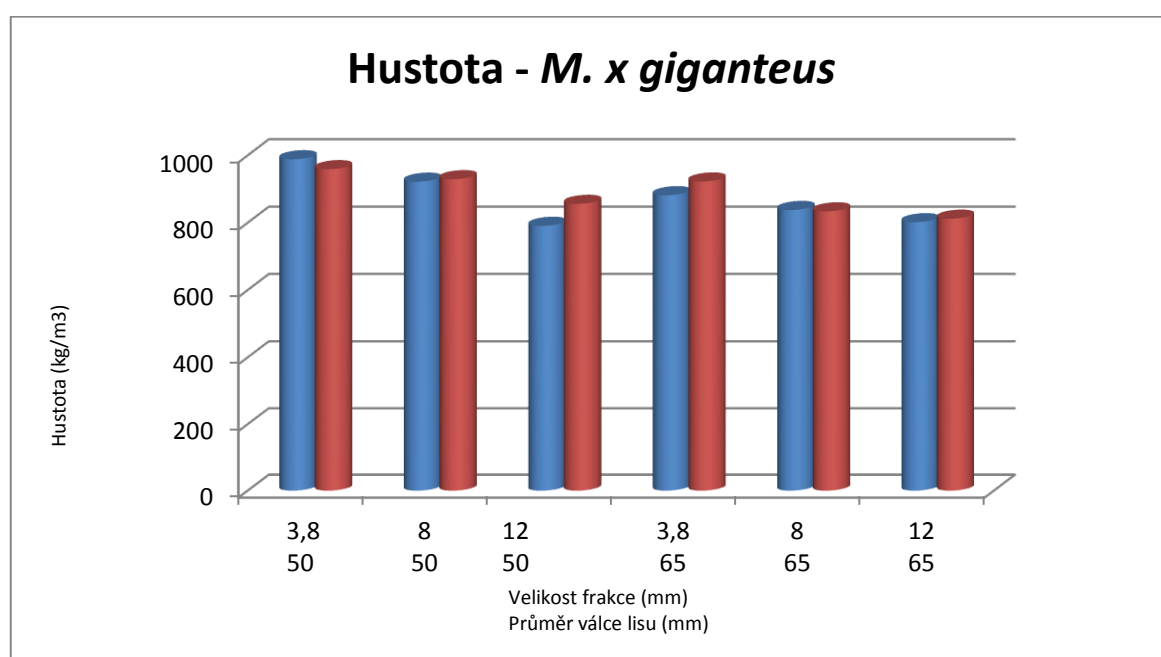
5.3 Analýza vlivu velikosti frakce nadrceného materiálu a průměru válce lisu na hustotu briket

Údaje získané z výzkumu hustoty byly zpracovány do přehledných tabulek (viz Příloha 5 a Příloha 6).



Graf 4: Grafické zobrazení hustoty před odrolem a po odrolu vzorků ozdobnice *Miscanthus sinensis*

Porovnáním grafů (viz Graf 4 a Graf 5) hustoty je patrné, že parametry hustoty jsou podobné vzhledem k velikosti frakce a průměru lisovacího válce u obou odrůd ozdobnice. Hustota briket o velikosti frakce 3,8 mm je všeobecně lepší a platí, že čím větší velikost frakce, tím je menší hustota briket a naopak. Hustota vzorků *Miscanthus sinensis* byla vyšší před odrolem ve všech 6- ti vzorcích (viz Graf 4). Hustota vzorků *M. x giganteus* byla vyšší po odrolení ve 4 vzorcích ze 6- ti vzorků a v případě vzorku *M. x giganteus* o velikosti frakce 8 mm (průměr lisovacího válce 65 mm) se hustota lišila jen minimálně (viz Graf 5). Je třeba vzít v úvahu, že vstupní nadrcený materiál měl kritické hodnoty vlhkosti (viz Příloha 2), a že podle Brožka (2012) tlak v lisovacích komorách lisů je nízký.



Graf 5: Grafické zobrazení hustoty před odrolem a po odrolu vzorků ozdobnice *M. x giganteus*

Pro účely výzkumu byly specifické vlastnosti pro hustotu briket rozděleny na:

- Hustotu, kde hustota částic je 900 až 999 kg/m³
- Hustotu, kde hustota částic je 800 až 899 kg/m³
- Hustotu, kde hustota částic je nižší než 799 kg/m³

Výsledky výzkumu ukázaly, že:

- Celkem 3 vzorky vykazovalo po odrolu hustotu vyšší než 900 a nižší než 999 kg/m³:

M. x giganteus, velikosti frakce 3,8 mm (průměr lisovacího válce 50 mm)

M. x giganteus, velikosti frakce 3,8 mm (průměr lisovacího válce 65 mm)

M. x giganteus, velikosti frakce 8 mm (průměr lisovacího válce 50 mm)

- Celkem 3 vzorky vykazovalo po odrolu hustotu vyšší než 800 a nižší než 899 kg/m³:

M. x giganteus, velikosti frakce 8 mm (průměr lisovacího válce 65 mm)

M. x giganteus, velikosti frakce 12 mm (průměr lisovacího válce 50 mm)

M. x giganteus, velikosti frakce 12 mm (průměr lisovacího válce 65 mm)

- Celkem 6 vzorků vykazovalo po odrolu hustotu nižší než 799 kg/m³:

Miscanthus sinensis, velikosti frakce 3,8 mm, (průměr lisovacího válce 50 mm)

Miscanthus sinensis, velikosti frakce 8 mm (průměr lisovacího válce 50 mm)

Miscanthus sinensis, velikosti frakce 12 mm (průměr lisovacího válce 50 mm)

Miscanthus sinensis, velikosti frakce 3,8 mm (průměr lisovacího válce 65 mm)

Miscanthus sinensis, velikosti frakce 8 mm (průměr lisovacího válce 65 mm)

Miscanthus sinensis, velikosti frakce 12 mm (průměr lisovacího válce 65 mm)

Typická hustota briket vyrobených z rostlinné biomasy nebo odpadů z rostlinné biomasy by se měla pohybovat mezi 800 - 1000 kg/m³ (Pobedinschi *et al.*, 2009; Havrland *et al.*, 2011). Z výsledků měření je patrné, že typické hodnoty 800 - 1000 kg/m³ před odrolem a po odrolu včetně dosáhlo celkem 13 vzorků ozdobnice. Většina vzorků *Miscanthus sinensis* měla hustotu před odrolem i po odrolu nižší než 800 - 1000 kg/m³ a to celkem 10 vzorků. Dále pak většina vzorků *M. x giganteus* měla před odrolem i po odrolu hustotu odpovídající 800 - 1000 kg/m³ a to celkem 11 vzorků. Průměrná hustota u *Miscanthus sinensis* byla před odrolem 794,61 kg/m³ a po odrolu 754,53 kg/m³. Průměrná hustota u vzorků *M. x giganteus* byla před odrolem 870,45 kg/m³ a po odrolu 885,48 kg/m³. Porovnáním výsledků hustoty ozdobnice je patrné, že vzorky *Miscanthus sinensis* měly průměrně nižší hustotu a to před odrolem i po odrolu než vzorky *M. x giganteus*. Nejdůležitější vlastností však je, že vzorky ozdobnice v obou případech vykazovaly nejvyšší hodnoty hustoty při velikosti frakce 3,8 mm. Dále je patrný menší vliv průměru lisovacího válce na hustotu než v případě hodnocení mechanické odolnosti, ale vyšší průměrné hodnoty hustoty vykazovaly vzorky ozdobnice o průměru 50 mm. Tyto skutečnosti lze vysvětlit pravděpodobně platností výroku čím vyšší hustota, tím menší částice a naopak, a tím, že vzorky ozdobnice o průměru 50 mm byly vystaveny vyšším teplotám při lisování, v důsledku čehož vznikly silnější vazby mezi částicemi hmoty a ligninu.

6 Závěr

Václav Klaus publikoval (2009), že „*situace, kdy zemědělské plodiny nejsou využívány k výrobě potravin, nýbrž k přimíchávání biosložek do pohonných hmot, vypadá jako z jiné planety.*“ O tom, zda konkrétní biopaliva nesou pozitiva či negativa, pojednává sborník Centra pro ekonomiku a politiku. Z hlediska strategie snižování emisí skleníkových plynů a ochrany životního prostředí představují bioenergetické rostliny významný prvek, při jehož spalování můžeme počítat s nulovými emisemi CO₂. Využívání OZE je v současnosti velmi diskutovanou otázkou a energie z biomasy patří mezi perspektivnější OZE. Celosvětově je do TB vkládána naděje, že v budoucnosti nahradí fosilní paliva. O budoucnosti TB by měl rozhodnout především trh, neboť hlavním problémem při uplatnění TB jsou cenové výkyvy fosilních paliv. TB mohou být vyrobeny z mnoha druhů biomasy a je třeba zkoumat jejich fyzikálně - mechanické a termické parametry s ohledem na celkovou energii vstupů, výstupů a kvalitu. Pěstování energetických rostlin přináší nejen environmentální výhody, ale zvyšuje i ekonomickou aktivitu, a přispívá k zajištění spolehlivé cenově dostupné energie. Jako výchozí materiál k provedení pokusu byla zvolena biomasa z ozdobnice čínské, která je velmi oblíbená okrasná rostlina a zároveň je perspektivní z hlediska energetického využití. Ozdobnice je energetická tráva prezentující přístup k šetrnějšímu způsobu získávání energie s vysokou výhřevností. Ozdobnice se dále vyznačuje vysokým výnosem sušiny, odolností vůči škůdcům a nepříznivým klimatickým podmínkám. Hlavním cílem praktické části této bakalářské práce bylo analyzovat vliv velikosti frakcí a průměru válců briketovacích lisů na mechanickou odolnost a hustotu briket, které můžeme považovat za mechanické „*měřítka*“ kvality. Lze konstatovat, že z hlediska mechanické odolnosti a hustoty dosahují lepších parametrů a výsledků vzorky briket z odrůdy *M. x giganteus*. Celkově vzorky ozdobnice s většími velikostmi frakcí (8 mm, 12 mm) vyrobené za použití většího průměru válce lisu (65 mm) byly mechanicky odolnější a zároveň vyšší hodnoty hustoty vykazovaly vzorky ozdobnice s menšími velikostmi frakcí (3,8 mm) a s menším průměrem válce lisu (50 mm). Průměr lisovacího válce měl vliv na mechanickou odolnost, zatímco velikost frakce ovlivnila spíše hustotu. Optimálních parametrů dosáhly vzorky briket z *M. x giganteus* o velikosti frakce 8 mm a o průměru válce lisu 50 a 65 mm, které jsou zároveň výhodné i z hlediska spotřeby energie při drcení, protože drcení na větší velikost frakce znamená nižší energetické vstupy.

7 Reference

Baláš M, Moskalík J. 2009. Měření vlhkosti paliv: Příspěvek ze sborníku příspěvků Energie z biomasy X. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, VUT v Brně. p9-15.

Bauen A, Woods J, Hailes R. 2004. A Biomass Blueprint to Meet 15% of OECD Electricity Demand by 2020. London: Imperial College London, Centre for Energy Policy and Technology. 74p. Available at: assets.panda.org/downloads/biomassreportfinal.pdf: Accessed 2014-02-11.

Benda V, Doležalová H, Dušička P, Hanslian D, Jevič P, Matuška T, Myslík V, Postorek Z, Stupavský V, Šejvl R, Šrefl R, Šulek P. 2012. Obnovitelné zdroje energie: 1. vydání. Praha: Vydavatelství odborného tisku Profi Press s.r.o. 208p.

Brožek M, Nováková A, Kolářová M. 2012. Quality evaluation of briquettes made from wood waste: Příspěvek z Agricultural Journals. Praha: Czech Academy of Agricultural Sciences Today, Czech University of Life Science Prague, 6p Available at: <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/60499.pdf>: Accessed 2014-03-27.

Bufka A. 2011. Brikety a pelety z biomasy v roce 2010: Výsledky statistických zjišťování. Praha: MPO ČR. 13p. Available at: <http://www.mpo.cz/zprava89949.html>: Accessed 2013-11-30.

Bursík M. 2013. Přednáška RNDr. na téma Státní energetická koncepce OZE v ČR: Vzdělávací program Zvyšování kvalifikace v oblasti obnovitelných zdrojů v rámci projektu č.CZ.2.17/1.1.00/34278 „Komplexní vzdělávací program pro podporu environmentálně šetrných technologií v dopravě a ve výstavbě a provozování budov“ podpořeného z Operačního programu Praha - Adaptabilita. Rychleby: Rychleby o.s., Ester, Bílý Potok 152.

Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2010. Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů. Praha: MPO ČR. 97p. Available at: <http://www.mpo.cz/dokument79564.html>. : Accessed 2013-12-04.

ČSN EN 14774-1:2010. 2010. Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Metoda sušení v sušárně - Část 1: Celková voda - Referenční metoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 12p.

ČSN EN 14961-1. 2010. Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv - Část 1: Obecné požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 56p.

ČSN EN 14961-2. Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv - Část 2: Dřevní pelety pro maloodběratele. 2011. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha. 16p.

ČSN EN 14961-3. 2011. Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv - Část 3: Dřevní brikety pro maloodběratele. 2011. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 16p.

ČSN EN 15210-2:2010. 2010. Tuhá biopaliva – Stanovení mechanické odolnosti pelet a briket - Část 2: Brikety. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 12p.

ČSN EN 15289. 2011. Tuhá biopaliva – Stanovení obsahu celkové síry a celkového chloru. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 16p.

ČSN EN 15297. 2011. Tuhá biopaliva – Stanovení stopových prvků - As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V a Zn. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 20p.

Drlíková L, Fajman M, Fryc V. 2008. Pěstování rychle rostoucích dřevin ve velmi krátkém obmýti v podmínkách Bystřice nad Pernštejnem: Příspěvek ze sborníku příspěvků Energie z biomasy IX. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, VUT v Brně, p53-36.

Energetický regulační úřad. 2013. Energetický regulační Věštník: ročník 13, částka 7/2013. Jihlava. 14p. Available at:

http://www.eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/2013/ERV7_2013_titul_konec_fi.pdf : Accessed 2013-12-04.

FAO. 2010. Biodiversity for Food and Agriculture: Contribution to food security and sustainability in a changing world, Outcomes of an expert workshop held by FAO and platform on agrobiodiversity research. Rome: Platform for Agrobiodiversity Research. 78p. Available at: http://www.fao.org/fileadmin/templates/biodiversity_paia/PAR-FAO-book_lr.pdf: Accessed 2013-08-12.

Gandalovič P. 2009. Biopaliva: Pomoc přírodě, nebo zločin proti lidskosti ?, Sborník textů. Praha: Centrum pro ekonomiku a politiku. 80p.

Havrland B, Pobedinschi V, Vrancean V, Pecen J, Ivanova T, Muntean A, Kandakov A. 2011. Biomass processing to biofuel. Praha: powerprint, 86p.

Hayes DJM. 2013. Mass and compositional changes, relevant to biorefining, in *Miscanthus x giganteus* plants over the harvest window. Limerick: Department of Chemical and Environmental Sciences, University of Limerick. p591-602. Available at: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0960852413007323>.

Hrdlička F. 2003. Profesorské přednášky: Biomasa - zdroj obnovitelné energie. Praha: České vysoké učení v Praze. 28p.

Hrdlička J, Verner R, Hejdová J. 2005. Spalování speciálních energetických rostlin: Příspěvek ze sborníku příspěvků Energie z biomasy IV. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, VUT v Brně, p27.

Ivanova T. 2012. Research of Energy Plants Processing to Solid Biofuels: Disertační práce. Praha: Katedra udržitelných technologií, Fakulta tropického zemědělství, Česká zemědělská univerzita v Praze, 122p.

Kaliyan N., Morey R.V. 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. Minnesota: Department of Bioproducts and Biosystems Engineering, University of Minnesota. p337-359. Available at: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0961953408002146>

- Kára J. 2003. Sláma jako palivo: technické předpoklady a ekonomika, CZ biom. Available at: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/slama-jako-palivo-technicke-predpoklady-a-ekonomika>: Accessed 2014-02-10.
- Klobušník L. 2003. Pelety: palivo budoucnosti. České Budějovice: Sdružení harmonie, 112p.
- Kotlánová A. 2009. Testování biomasy a výrobků z biomasy (pelet a briket) určených ke spalování. Available at: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/testovani-biomasy-a-vyrobku-z-biomasy-pelet-a-briket-urcenyh-ke-spalovani>: Accessed 2013-11-30.
- Kolektiv autorů. CZ Biom. 2011. Ozdobnice čínská: CZ biom. Available at: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/ozdobnice-cinska>: Accessed 2013-11-16.
- Křižan P, Matuš M. 2008. Význam a vplyv vlhkosti materiálu a veľikosti frakcie v procese zhutňovania: Príspevek ze sborníku příspěvků Energie z biomasy IX. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, VUT v Brně, p57-64.
- Křižan P, Matuš M. 2009. Dôležitosť druhu lisovaného materiálu pri briketovaní a peletovaní: Príspevek ze sborníku příspěvků Energie z biomasy X. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, VUT v Brně, p59-66.
- Lewandowski I, Heinz A. 2003. European Journal of Agronomy: Delayed harvest of Miscanthus—influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production. Institute for Crop Production and Grassland Research, University of Hohenheim. Stuttgart. p45-63. Available at: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S1161030102000187>.
- Lewandowski I, Scurlockb JMO, Lindvallc E, Christoud M. 2003. Biomass and Bioenergy: The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. Utrecht. p335-361. Available at: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0961953403000308>.

- Malafák J, Vaculík P. 2008. Biomasa pro výrobu energie: Vědecká monografie. Praha: Katedra technologických zařízení staveb, Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze. 208p.
- Matuš M. 2007. Parametre ovplyvňujúce kvalitu výliskov z biomasy z hľadiska procesu ich výroby: Príspevek ze sborníku příspěvků Energie z biomasy VII. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, VUT v Brně, p115- 120.
- Matuš M, Križan P. 2008. Technológia zhutňovania biomasy do nového tvaru biopaliva: Príspevek ze sborníku příspěvků Energie z biomasy IX. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, VUT v Brně, p85-91.
- Matuš M, Križan P. 2009. Identifikácia väzbotvorných mechanizmov v procese zhutňovania biomasy a ich vplyv na konštrukciu zhutňovacích strojov: Príspevek ze sborníku příspěvků Energie z biomasy X. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, VUT v Brně, p75- 80.
- Matuš M, Križan P, Kováčová M. 2009. Analýza konštrukčných parametrov vplyvujúcich na výslednu kvalitu výlisku: Príspevek ze sborníku příspěvků Energie z biomasy IX. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, VUT v Brně, p67-74.
- Murtinger K, Beranovský J. 2011. Energie z biomasy. Brno: Computer Press, EkoWATT, 106p.
- Murphy F, Devlin G, McDonnell K. 2013. Miscanthus production and processing in Ireland: An analysis of energy requirements and environmental impacts: Biosystems Engineering Department. Dublin: University College. p412-420. Available at: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S1364032113001068>.
- Rajgor G. 2013. Renewable Power Generation - 2012 figures: Special report, Part six: US dominated the electricity from biomass world market in 2012, Príspevek z magazínu Focus. Available at: <http://www.renewableenergyfocus.com/view/35689/renewable-power-generation-2012-figures/>: Accessed 2014-02-11.

Stražil Z. 2009. Základy pěstování a možnosti využití ozdobnice (*Miscanthus*): Metodika pro praxi. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby v.v.i., 50p. Available at: http://invenio.nusl.cz/record/123821/files/nusl-123821_1.pdf: Accessed 2013-11-08.

Stupavský V. 2012. Zelená podpoře tepla pro zdroje na biomasu a bioplyn zajistí nižší náklady spotřebitelů: CZ biom. Available at: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zelena-podpore-tepla-pro-zdroje-na-biomasu-a-bioplyn-zajisti-nizsi-naklady-spotrebitelu>: Accessed 2014-02-10.

Šooš L. 2000. Drevný odpad...čo s ním? Bratislava: Energetické centrum Bratislava, OPET Slovensko, 119p.

Temmermana M, Rabiera F, Jensen P, Hartmann H, Böhm T. 2006. Biomass and Bioenergy: Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes, Centre wallon de Recherches agronomiques. Gembloux. p964 - 972. Available at: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0961953406001024>.

Thomson B, Marc JC. 2012. The Impact of Climate Changes and Biodiversity on Nutrition. Published by FAO and Springer Science+Business Media BV. 120p.

Valíček P. a kolektiv. 2002. Užitéčné rostliny tropů a subtropů. Praha: Academia. 486p.

Vláda. 2002. Nařízení vlády č. 352/2002 Sb. ze dne 3. července 2002, kterými se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší. Praha: Food Research Institute Prague. 36p. Available at: <http://www.vupp.cz/czvupp/departments/odd350/05sNarizenVI35202.pdf>: Accessed 2014-02-06.

Seznam příloh

Příloha 1: Osvědčení o absolvování vzdělávacího programu ze dne 15. července 2013.....	I
.....	I
Příloha 2: Tabulka naměřených vlhkostí vzorků ozdobnice	II
Příloha 3: Tabulka výsledků měření mechanických odolností vzorků ozdobnice <i>Miscanthus sinensis</i>	II
Příloha 4: Tabulka výsledků měření mechanických odolností vzorků ozdobnice <i>M. x giganteus</i>	II
Příloha 5: Tabulka výsledků měření hustot před odrolem a po odrolu vzorků ozdobnice <i>Miscanthus sinensis</i>	III
Příloha 6: Tabulka výsledků měření hustot před odrolem a po odrolu vzorků ozdobnice <i>M. x giganteus</i>	III

Příloha 1:

Osvědčení o absolvování vzdělávacího programu ze dne 15. července 2013

Vzdělávací program Zvyšování kvalifikace v oblasti obnovitelných zdrojů v rámci projektu č. CZ.2.17/1.1.00/34278 „Komplexní vzdělávací program pro podporu environmentálně šetrných technologií v dopravě a ve výstavbě a provozování budov“ podpořeného z Operačního programu Praha - Adaptabilita konaného v Ekologickém centru Rychleby o.s., Ester, Bílý Potok 152.

Vzdělávací subjekt: CZ Biom - České sdružení pro biomasu

U Čtyř domů 1201/3, Praha 4, www.biom.cz



Osvědčení o absolvování vzdělávacího programu

Vzdělávací subjekt:

CZ Biom – České sdružení pro biomasu
U Čtyř domů 1201/3, Praha 4
www.biom.cz

ve spolupráci s

Česká zemědělská univerzita v Praze
Kamýcká 129, Praha 6
www.czu.cz

OSVĚDČENÍ

Jméno a příjmení: *Přemysl Hlažký*

Den, měsíc a rok narození: *20.10.1989*

absolvoval(a)

Vzdělávací program Zvyšování kvalifikace v oblasti obnovitelných zdrojů

v rámci projektu č. CZ.2.17/1.1.00/34278 „Komplexní vzdělávací program pro podporu environmentálně šetrných technologií v dopravě a ve výstavbě a provozování budov“ podpořeného z Operačního programu Praha – Adaptabilita

V Praze dne *15.7.2013*


České sdružení pro biomasu
Drovná 50, 101 00 Praha 6
IČ: 61383002, DIČ: CZ61383929
www.biom.cz
.....
podpis a razítko

Příloha 2:

Tabulka naměřených vlhkostí vzorků ozdobnice

název vzorku	Vlhkosti vzorků		Průměrná hodnota vlhkosti
	vzorek č. 1	vzorek č. 2	vzorek č. 1 a 2
<i>Miscanthus sinensis</i>	12,16 %	13,85 %	13,01 %
<i>M. x giganteus</i>	13,06 %	12,94 %	13 %

Příloha 3:

Tabulka výsledků měření mechanických odolností vzorků ozdobnice *Miscanthus sinensis*

Velikost frakce <i>Miscanthus sinensis</i>	Průměr hubice	Součet hmotností před odrolem	Součet hmotností po odrolu	Mechanická odolnost
3,8 mm	50 mm	5694,4 kg	5118,14 kg	89,88 %
8 mm	50 mm	10016,61 kg	9483,66 kg	94,68 %
12 mm	50 mm	10002,99 kg	9300,25 kg	92,98 %
3,8 mm	65 mm	9831,55 kg	9161,63 kg	93,19 %
8 mm	65 mm	10249,07 kg	9450,24 kg	92,21 %
12 mm	65 mm	10303,66 kg	9968,74 kg	96,75 %

Příloha 4:

Tabulka výsledků měření mechanických odolností vzorků ozdobnice *M. x giganteus*

Velikost frakce <i>M. x giganteus</i>	Průměr lisovacího válce	Součet hmotností před odrolem	Součet hmotností po odrolu	Mechanická odolnost
3,8 mm	50 mm	5447,86 kg	5194,44 kg	95,35 %
8 mm	50 mm	9629,9 kg	9265,87 kg	96,22 %
12 mm	50 mm	10013,19 kg	9584,8 kg	95,71 %
3,8 mm	65 mm	9863,52 kg	9591,63 kg	97,24 %
8 mm	65 mm	9834,33 kg	9612,84 kg	97,75 %
12 mm	65 mm	9946,1 kg	9638,6 kg	96,91 %

Příloha 5:**Tabulka výsledků měření hustot před odrolem a po odrolu vzorků ozdobnice *Miscanthus sinensis***

Velikost frakce <i>Miscanthus sinensis</i>	Hustota pře odrolem	Hustota po odrolu
3,8 mm, 50 mm	796,92 kg/m ³	784,43 kg/m ³
8 mm, 50 mm	801,14 kg/m ³	766,65 kg/m ³
12 mm, 50 mm	788,81 kg/m ³	762,7 kg/m ³
3,8 mm, 65 mm	870,65 kg/m ³	756,81 kg/m ³
8 mm, 65 mm	765,26 kg/m ³	721,72 kg/m ³
12 mm, 65 mm	744,87 kg/m ³	728,87 kg/m ³

Příloha 6:**Tabulka výsledků měření hustot před odrolem a po odrolu vzorků ozdobnice *M. x giganteus***

Velikost frakce <i>M. x giganteus</i>	Hustota před odrolem	Hustota po odrolu
3,8 mm, 50 mm	988,61 kg/m ³	959,21 kg/m ³
8 mm, 50 mm	921,97 kg/m ³	929,29 kg/m ³
12 mm, 50 mm	790,78 kg/m ³	856,17 kg/m ³
3,8 mm, 65 mm	881,82 kg/m ³	922,46 kg/m ³
8 mm, 65 mm	837,94 kg/m ³	833,81 kg/m ³
12 mm, 65 mm	801,6 kg/m ³	811,93 kg/m ³