

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie



Diplomová práce

Briketování energeticky využitelných materiálů

Bc. Jana Habartová

© 2018 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jana Habartová

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Briketování energeticky využitelných materiálů

Název anglicky

Briquetting of materials suitable for the energy production

Cíle práce

- shromáždit informace o technologii briketování se zaměřením na energeticky využitelné materiály,
- na základě vyhodnocení výsledků provedeného experimentu posoudit vybrané mechanické vlastnosti briket, včetně ekonomického zhodnocení.

Metodika

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- cíl práce a metody jejího zpracování,
- výsledky experimentů a jejich diskuse,
- závěry a přínos práce.

Doporučený rozsah práce

cca 60 stran

Klíčová slova

pevná biopaliva; biomasa; energetická produkce; zemědělský odpad; vlastnosti briket

Doporučené zdroje informací

BARTOŠ, V.: Briketování kovových a nekovových materiálů (Diplomová práce, vedoucí Milan Brožek).

Praha, TF ČZU 2000. 66 s.

BLAHOVEC, J.: Stlačování upravené žitné slámy. Zemědělská technika. 1982. 28(2). s. 65-75.

BROŽEK, M., NOVÁKOVÁ, A., KOLÁŘOVÁ, M.: Quality evaluation of briquettes made from wood waste.

Research in Agriculture Engineering, 2012. 58(1). s. 30–35

BROŽEK, M.: The effect of moisture of the raw material on the properties briquettes for energy use. Acta

Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2016. 64(5). s. 1453-1458.

FELFLI, F. F., MESA, P. J. M., ROCHA, J. D., FILIPPETTO, D., LUENGO, C. A., PIPPO, W. A.: Biomass briquetting

and its perspectives in Brazil. Biomass and Bioenergy. 2011. 35(1). s. 236-242.

CHEN, L., XING, L., HAN, L.: Renewable energy from agro-residues in China: Solid biofuels and biomass

briquetting technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009. 13(9). s. 2689-2695.

KOLÁŘOVÁ, M.: Vlastnosti pelet a briket pro energetické využití (Doktorská disertační práce, školitel Milan

Brožek). Praha, ČZU 2011. 121 s. + příl.

normy, časopisy, firemní literatura

NOVÁKOVÁ, A., BROŽEK, M.: Properties of fuel briquettes after three years storage. Proceeding of 6th

International conference on Trends in Agricultural Engineering 2016. Prague, Czech Republic. CULS.

s. 442-446.

PLÍŠTIL, D.: Briketování a pakování (Doktorská disertační práce, školitel Milan Brožek). Praha, ČZU 2005.

169 s.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 8. 1. 2017

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Briketování energeticky využitelných materiálů" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 20. 3. 2018

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu práce prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc. za odborné konzultace a cenné rady při zpracování mé diplomové práce a za rady a konzultace s matematickým programem panu doc. Ing. Vladimíru Šlegerovi, CSc.

Děkuji také za příležitost být členkou a součástí řešitelského kolektivu v projektu IGA 2017 – *Stanovení vhodnosti exotické i lokální odpadní biomasy k produkci tuhých biopaliv na základě zhodnocení jejího energetického potenciálu.*

Poděkování patří mému otci, babičce a přátelům za podporu během studia.

Briketování energeticky využitelných materiálů

Souhrn

Předmětem diplomové práce je problematika briketování, výběr materiálů a vlastnosti výsledných briket.

Teoretická část se zabývá biomasou, jejími druhy a rozdělením, legislativou v ČR a Evropské unii, briketovacími lisami a linkami pro výrobu i přípravu materiálu sušením, drcením nebo sekáním před samotným lisováním. Problematika briketování je zde rozšířena o výčet českých a evropských technických norem, které se týkají briketování, emisí i chemických vlastností briket.

V praktické části jsou slisovány a zkoušeny na mechanickou odolnost vzorky z šesti rozdílných materiálů o průměru 50 mm. V další části jsou použity tři materiály pro lisování briket o dvou průměrech. Pro vyhodnocení závislosti síly na dráze pístu a maximální hodnoty energie při lisování briket.

Klíčová slova: briketování, biomasa, briketa, briketovací lis, mechanická odolnost, energetické rostliny

Briquetting of materials suitable for the energy production

Summary

The subject of the Diploma thesis is briquetting, a choice of material and characteristics of the final product – briquette.

The theoretical part discusses the basics of biomass, its types and the legislation in the Czech Republic and in European Union, briquetting presses and briquetting lines for the process of briquetting and even the process of drying and cutting before. The topic is extended by the list of Czech and European technical norms, which consider briquetting itself, emissions and chemical characteristics of a briquette.

The practical part contains examination of mechanical durability of six different materials with the same diameter. In addition, the briquettes with two different diameters were pressed for finding dependencies of force and the length of a piston path. From that was found the maximum energy value.

Keywords: briquetting, biomass, briquette, briquetting presses, mechanical durability, energy plants

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Cíl práce.....	11
3 Metodika	11
4 Teoretická východiska	12
Historie briketování.....	12
Briketování v současnosti	12
Legislativa EU.....	13
Předpisy pro využití biomasy	13
Dotace a podpora v ČR	18
Operační program Životního prostředí	18
Program EFEKT 2017-2021.....	18
Program rozvoje venkova 2014 – 2020.....	19
Podpora přípravy energeticky úsporných projektů.....	19
Program Zelená úsporám 2013 - 2020	20
Základní pojmy	21
Briketa	21
Dřevní palivo	21
Palivové dřevo	21
Zelená biomasa.....	21
Stanovení mechanické odolnosti	22
Štěpka	22
Briketovací lisy a příprava materiálu	22
Drcení	22
Sušení	23
Mechanické lisy.....	23
Hydraulické lisy.....	23
Briketovací linky	23
Šnekové lisy.....	24
Roller lisy	25
Materiály pro briketování.....	25
Biomasa	25
Odpad ze zemědělství.....	26
Energetické rostliny.....	27
RRD – Rychle rostoucí dřeviny	29
Dřevo	29

Lesní a plantážové dřevo	29
Vedlejší produkty a zbytky z dřevozpracujícího průmyslu	29
Použité dřevo	29
Skladování briket	30
Vlastnosti briket pro energetické využití	30
Odběry vzorků podle normy ČSN 18135	31
Obsah vody.....	32
Obsah popela.....	33
Výhřevnost a spalné teplo	33
Prchavá hořlavina.....	33
Emisní charakteristika	34
Synná hmotnost	35
Mechanická odolnost.....	36
Zařízení na spalování biomasy.....	36
Zařízení na spalování biomasy.....	36
Litinové kotle.....	36
Ocelové kotle.....	37
Ocelové kotle speciální, tzv. zplyňovací	37
Automatické kotle	37
Ekonomické hledisko briketování.....	37
5 Vlastní řešení	39
Postup měření a měřicí stroje.....	39
Briketovací lis.....	39
Měření mechanické odolnosti.....	40
Vyhodnocení měření	42
Smrk hobliny	42
Modřín piliny.....	43
Papír skart.....	44
Miscanthus šrot.....	45
Topol osika štěpka.....	46
Čaj sypaný	47
Souhrn materiálů	48
Vztah síly na dráze pístu	51
Modřín piliny.....	51
Papír	54
Čaj sypaný	57
6 Zhodnocení výsledků	60
Ekonomické hodnocení.....	64

7 Závěr.....	66
8 Seznam použitých zdrojů	68
9 Přílohy	75

Seznam obrázků

Obr. 1 Briketovací linka BRIKLIS	24
Obr. 2 Briklis 30-12	40
Obr. 3 vzorek smrk hobliny	43
Obr. 4 vzorek modřín piliny	44
Obr. 5 vzorek papír skart	45
Obr. 6 vzorek Miscanthus šrot.....	46
Obr. 7 vzorek topol osika štěpka	47
Obr. 8 vzorek čaj sypaný	48
Obr. 9 Krabicový graf hustota	49
Obr. 10 Krabicový diagram - síla na porušení.....	50
Obr. 11 vzorek modřín piliny, briketa průměr 40 mm.....	52
Obr. 12 vzorek modřín piliny, briketa průměr 40 mm.....	53
Obr. 13 vzorek modřín piliny, briketa průměr 65 mm.....	54
Obr. 14 vzorek modřín piliny, 65 mm průměr.....	54
Obr. 15 papír skart, briketa průměr 40 mm	55
Obr. 16 papír skart, briketa průměr 40 mm	55
Obr. 17 papír skart, briketa průměr 65 mm	56
Obr. 18 papír skart, briketa průměr 65 mm	57
Obr. 19 čaj sypaný, brikety průměr 40 mm	57
Obr. 20 čaj sypaný, briketa průměr 40 mm	58
Obr. 21 čaj sypaný, briketa průměr 65 mm	59
Obr. 22 čaj sypaný, briketa průměr 65 mm	59
Obr. 23 zhodnocení, modřín piliny 40 a 65 mm.....	61
Obr. 24 zhodnocení, čaj sypaný 40 a 65 mm.....	62
Obr. 25 zhodnocení papír skart 40 mm.....	63

Seznam tabulek

Tab. 1 Vlastnosti briket dle normy ČSN EN ISO 17225-1	16
Tab. 2 Obsah vody energetického šťovíku	32
Tab. 3 Emise CO.....	35
Tab. 4 smrk hobliny, měrná hmotnost a deformační síla	43
Tab. 5 modřín piliny, měrná hmotnost a deformační síla.....	44
Tab. 6 papír skart, měrná hmotnost a deformační síla	45
Tab. 7 Miscanthus šrot, měrná hmotnost a deformační síla	46
Tab. 8 topol osika štěpka, měrná hmotnost a deformační síla	47
Tab. 9 čaj sypaný, měrná hmotnost a deformační síla.....	48
Tab. 10 přehled materiálů, měrná hmotnost a deformační síla.....	48
Tab. 11 třídy hustoty.....	60
Tab. 12 přehled nákladů.....	65
Tab. 13 Výnosy.....	65

1 Úvod

Rozličné využívání obnovitelných zdrojů pro výrobu paliv je čím dál víc aktuální téma. Žijeme ve světě, který závisí na fosilních palivech, která se zdražují a nebudou vždy dostupná. Proto se dostává do popředí biomasa a její využití pro výrobu biopaliv a to nejen z důvodu docházejících zdrojů fosilních paliv. Vidina úplného nahrazení stávajících neobnovitelných zdrojů a využití biopaliv je ještě daleko, ale touto cestou se budeme muset v budoucnu vydat. Proto jsou zde snahy o efektivní využití biomasy a využití jinak nepotřebného zemědělského odpadu.

Brikety mohou tento trend podpořit a nahradit část spotřeby neobnovitelných paliv. Dnes jsou známy varianty briket převážně ze dřeva. Vznikají za absence pojiv působením tlaku v briketovacích lisech nebo briketovacích linkách. Pojiva mohou být použita u biomasy s horšími pojivými vlastnostmi za účelem lepších vlastností konečného produktu. Po ekonomické stránce mají brikety neuvěřitelnou výhodu oproti volně ložené biomase při skladování a dopravě.

Materiál musí být upraven před samotným lisováním. Nejdůležitějším ukazatelem materiálu pro briketování je vlhkost, proto je nutno čerstvou biomasu sušit. Neméně důležitá činnost je nadrcení, štěpkování, řezání nebo jiná úprava velikosti jednotlivých částic biomasy.

Energeticky využitelné typy biomasy mohou být nejen dřevo, ale také energetické rostliny, traviny nebo novinkou jsou rychle rostoucí dřeviny, které jsou k tomuto účelu přímo šlechtěny.

V této práci byly použity jak klasické materiály ze dřeva, Miscanthu a papíru, tak i méně obvyklý materiál čaj, a to zejména pro pestřejší výsledky a pro ukázkou, že nejen dřevo a papír jsou materiály vhodné pro briketování. Briketování má potenciál využití širokého množství materiálů, jen je nutno dostat tuto informaci do povědomí lidí.

Ze slisovaných briket byla vyhodnocena mechanická odolnost, měrné hmotnosti a další vlastností briket. Mechanické vlastnosti mají velký vliv na kvalitu a konečnou cenu briket.

2 Cíl práce

Cílem teoretické části práce bylo vytvořit přehled a popsat základní pojmy vyskytující se v oblasti briketování a biomasy. Cílem práce bylo rovněž popsat všechny důležité faktory, které ovlivňují jak technologicky, tak legislativně výrobu a nakládání s briketami.

V první části je uveden přehled nejznámějších a nejvyužívanějších energetických rostlin a travin u nás. Dále jsou zde popsány fyzikální vlastnosti briket a technické normy, které se dotýkají tohoto tématu. Dotační a rozvojové programy Ministerstva životního prostředí pro podnikatele i fyzické osoby jsou důležitou součástí zvyšování podílu používání biomasy na celkové spotřebě paliv. Kromě toho tyto programy pomáhají dostat tuto problematiku do povědomí veřejnosti.

Neodmyslitelnou částí jsou i druhy lisů, briketovací linky a sušárny, které jsou v první části práce taky popsány.

3 Metodika

Teoretická část zahrnovala studium zákonů, technických norem, materiálů a zařízení pro samotné lisování briket. Důležitými podklady byly i chemické a fyzikální vlastnosti briket. Shromážděné informace byly nadále základem pro praktickou část práce.

Praktická část se skládá ze tří částí. V první části byly slisovány vzorky ze šesti materiálů o průměru 50 mm, které byly změřeny a zkoušeny na mechanickou odolnost. Výsledkem této části byla zjištěná hustota a potřebná deformační síla na 1 milimetr délky brikety.

Ve druhé části práce byly lisovány brikety tří materiálů o průměrech 65 a 40 mm. Zde šlo o zjištění průběhu síly na posunu pístu modulu lisu při vytváření briket na univerzálním zkušebním stroji ZDM50. (Úřad průmyslového vlastnictví, 2018)

Tyto informace byly zpracovány v matematickém programu a využity ve třetí části práce k porovnání těchto tří materiálů. Dopočítané hodnoty hustoty jsme srovnali s vynaloženou energií na výrobu, zda a do jaké míry se ekonomicky vyplatí zvyšovat hustotu u jednotlivých materiálů.

V závěru práce je ekonomické zhodnocení výroby briket z odpadního dřeva. K teoretickému výpočtu i skutečnému vytvoření briket byl použit lis BrikStar 30-12 v laboratořích katedry materiálu a strojírenské technologie.

4 Teoretická východiska

Historie briketování

Briketování je starou technologií, první písemná zmínka je ze začátku 18. století. Ale je známo, že se začalo využívat již v 17. století při těžbě uhlí, kdy se ze zbytkového jemného prášku lisovaly brikety. Rozdílné byly stroje k lisování, základ konstrukce byly dva hydraulické válce postaveny proti sobě. Ve válcích byly vyhloubeny do oválného tvaru prohlubně, kde prášek uhlí byl stlačován silou 10 – 30 kN. (Plíštil, 2005, s. 11) První briketárna na zpracování mouru hnědého uhlí v České republice byla postavena u dolu v Bílině roku 1877. (Kolářová, 2011, s. 21)

Briketování v současnosti

Stlačováním materiálu pod vysokým tlakem je vytvořena briketa o válcovém tvaru o různých průměrech a délkách. Brikety však mohou mít i kvádrový tvar s oblými hranami nebo hranol šestiúhelníkový, v závislosti na tvaru komory lisu. (Brožek, 2016, s. 1453)

Délka briket obvykle bývá v rozmezí 30 až 300 mm a průměr se pohybuje mezi 50 až 75 mm. (Havrland, Pobedinschi, 2011, s. 58)

Briketování nekovových materiálů se zakládá na lisování biomasy do briket, za předpokladu splnění základních požadavků: hustota, kontrola mechanických vlastností a emisních vlastností u briket k topným účelům.

Proces briketování využívá chemických i mechanických vlastností materiálu bez použití pojiv. Při lisování na vysokotlakém lisu dochází k zhutňování a pryskyřice tímto způsobem uvolněné z biomasy slouží jako přírodní pojivo a není nutností cokoli přidávat, brikety drží tvar. Konkrétní pryskyřice, která se uvolňuje při lisování biomasy, je lignin.

Atraktivní je v oblasti obnovitelných zdrojů energie, která je podmínkou pro trvale udržitelný zdroj v zemědělství. Především se využívá zbytková biomasa. Tyto materiály jsou však nutné upravit např. štěpkováním na kusy ve velikosti od 20 do 100 mm. Štěpku už je možné spalovat v tomto stavu, ale běžněji se zpracovává dále na efektivnější formy paliv. Nejčastěji se setkáme s briketami nebo peletami. Hlavními důvody pro další zpracování je razantní zmenšení objemu paliv, které oceníme při skladování nebo úsporách na nákladech na dopravu. (Plíštil, 2005, s. 8-9)

V současnosti je tendence taková, že dochází k rostoucí spotřebě briket a pelet. V roce 2007 byla zaznamenána spotřeba přes 30 000 tun přičemž v roce 2012 už to bylo okolo 200 000 tun. (MPO, 2013) (Kolářová, 2011, s. 22)

Dle údajů Ministerstva průmyslu a obchodu byl podíl obnovitelné energie na konečné spotřebě energie 14,91 % za rok 2016. Přičemž podle stejné metodiky v roce 2010 to bylo 10,48 %. Konkrétně z briket a pelet bylo vyrobeno 237 630 MWh, což činilo 2,53 % z celkově vyrobené elektřiny z obnovitelných zdrojů. Výroba tepla z briket a pelet opět za stejný rok čítala 898 944 GJ a podíl na celkové výrobě tepla z obnovitelných zdrojů byla pouze 0,98 %. (Ministerstvo průmyslu a obchodu – Obnovitelné zdroje energie, 2017)

Legislativa EU

Mezi cíle Evropské unie v oblasti obnovitelných zdrojů patří udržování, zlepšování a ochrana kvality životního prostředí a rozumné využívání zdrojů. Situace 90. let 20. století dala za vznik jednomu z nejdůležitějších dokumentů v oblasti obnovitelných zdrojů zvaná Bílá kniha. V této knize byla zanalyzována míra využití obnovitelných zdrojů a z toho dále vyvozuje strategie zlepšení do budoucna.

Podle směrnice 2009/28/ES ze dne 23.4.2009 o podpoře energie vyrobené z obnovitelných zdrojů by Evropská unie měla v roce 2020 navýšit podíl obnovitelných zdrojů v elektřině na 20 % a v dopravě na 10 %.

Ve smlouvě, kterou Česká republika podepsala při vstupu do Evropské unie, jsou zahrnuty hodnoty pro jednotlivé státy. Česká republika se upsala k výrobě 8 % elektřiny z obnovitelných zdrojů v roce 2010 a do roku 2020 bychom měli pokořit hranici 13 % z celkového objemu spotřebované elektřiny u nás. (Ministerstvo průmyslu a obchodu – Obnovitelné zdroje energie, 2017)

Vláda na základě usnesení zřídila nezávislou energetickou komisi, která se zabývá strategiemi pro snižování energetické náročnosti České republiky a dává za vznik prostoru pro inovace a motivaci ke snižování emisí. (Kolářová, 2011, s. 10-11)

Předpisy pro využití biomasy

České zákony vychází ze zákonů Evropské unie, které jsou dále nadřazeny i právním a technickým předpisům.

Právní a technické normy EU

Směrnice 2009/28/ES hovoří o snižování emisí skleníkových plynů a splnění Kjótského protokolu v rámci OSN, vývoji nových technologií a rozšiřování a podpoře veřejné hromadné dopravy, snižování závislosti na dovážených fosilních palivech, rozvoji trhu s obnovitelnými zdroji na regionální i místní úrovni, decentralizování výroby energie zabezpečující stabilní dodávky energie a snížení ztráty při přenosu energie. V této normě se také členské státy upisují k využití 20 % energie obnovitelných zdrojů z celkové hrubé spotřeby energie v roce 2020. (Úřední věstník Evropské unie, 2009)

Komise Bílé knihy se v roce 2011 usnesla na dlouhodobém plánu snižování skleníkových plynů o 60 % v dopravě do roku 2050. Snížení skleníkových plynů o 60 % v porovnání s rokem 1990 se hovoří ve směrnici Evropského parlamentu a rady **2014/94/EU**. (Úřední věstník Evropské unie, 2014)

Nařízení č. 1069/2009, které nahradilo dlouhotrvající nařízení 1774/2002, je nařízení evropského parlamentu o *hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě*. (Úřední věstník Evropské unie, 2009)

Základní zákony v České republice

Mezi základní zákony v České republice patří:

- Zákon 91/2016 Sb. *Zákon o technických požadavcích na výrobky*
- Zákon 402/2010 Sb. *Zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie*
- Zákon 310/2013 Sb. *Zákon o podporovaných zdrojích energie*

Nařízení vlády a vyhlášky k zákonům

Základním nařízením vlády v tomto odvětví je:

- Nařízení vlády č. 352/2014 Sb. o *Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015–2024*

Složkové zákony a související předpisy

Existuje mnoho složkových zákonů v oblasti zemědělství a životního prostředí a to z důvodu, že energetické využití zasahuje do mnoha právních problémů.

Vyhlášky a předpisy samosprávních orgánů

Příkladem jsou Územní energetické koncepce a Plány odpadového hospodářství vydávané samosprávnými orgány. Platí vždy pro oblast, pro kterou je vyhláška nebo předpis vydáván. Nesmí odporovat platným právním předpisům, které jsou tomuto nadřazeny. (Biom.cz, 2018) (Kolářová, 2011, s. 16)

České technické normy (ČSN)

ČSN EN ISO 16559 *Tuhá biopaliva - Terminologie, definice a popis*

Hovoří o terminologii pro tuhá biopaliva. Zahrnuje zpracovaný a surový materiál z ovocnářství, lesnictví, sadařství, zahradnictví, zemědělství a akvakultury. (ČSN EN ISO 16559, 2015)

ČSN EN ISO 17225-1 *Tuhá biopaliva - Specifikace a třídy paliv*

Normy ISO 17225 určují třídy kvality a specifikace tuhých biopaliv ze surových a zpracovaných materiálů pocházejících z lesnictví a parků, zemědělství a zahradnictví, akvakultury. Norma slouží k jasnému definování a klasifikování tuhých paliv pro účely obchodování i pro výrobce zařízení. Specifikací a třídami paliv pro brikety se zabývá část normy ČSN EN ISO 17225-7, konkrétně pro nedřevní brikety. Dle normy není nutné uvádět chemickou upravu biomasy, avšak když vyvstane podezření na znečištění či použití škodlivého chemického ošetření je na místě provést analýzu. Výčet nejdůležitějších vlastností pro specifikované kategorie briket jsou uvedeny v tab. 1 viz níže. (ČSN EN ISO 17225-1, 2014)

Tab. 1 Vlastnosti briket dle normy ČSN EN ISO 17225-1

Třída vlastností	A	B
Voda [% původní]	M12≤12	M15≤15
Popel [% bezvodý]	A6≤6	A10≤10
Hustota částic [g.cm ⁻³ původní]	DE0,9≤0,9	DE0,6≤0,6
Výhřevnost [MJ/kg]	Q14.5≤14.5	Q14.5≤14.5
Dusík [% bezvodý]	N1.5≤1.5	N2,0≤2,0
Síra [% bezvodý]	S0,20 ≤ 0,20	S0,30 ≤ 0,30
Chlor[% bezvodý]	Cl 0,10 ≤ 0,10	Cl 0,30 ≤ 0,30
Příspěvky [% bezvodý]	≤5	≤5

Zdroj: csonlinefirmy.agentura-cas.cz

ČSN EN 15234-1 Tuhá biopaliva - Prokazování kvality paliv

Norma stanovuje postupy pro dosažení požadavků na kvalitu a řízení kvality, popisuje opatření, která s důvěrou zajišťují plnění specifikace biopaliva. Zabývá se celým dodavatelským řetězcem, od zásobování surovinami po místo dodávky konečnému spotřebiteli a to pouze z tuhých biopaliv pocházející z následujících zdrojů: produkty zemědělství a lesnictví, rostlinný odpad ze zemědělství a lesnictví, rostlinný odpad z potravinářského průmyslu a dřevní odpad. Dodavatelský řetězec v tomto odvětví se většinou skládá z článků: sběr a identifikace surovin, úprava a výroba biopaliv, dodávání a obchodování s tuhými biopalivy, příjem/koupě konečným spotřebitelem.

Paliva mohou obsahovat organické halogenované sloučeniny nebo těžké kovy, což je důsledkem ošetření konzervačními prostředky na dřevo nebo nátěrovými hmotami. Zvláště takový dřevní odpad, který pochází ze staveb, dále vláknitý rostlinný odpad ze zpracování přírodní buničiny (výroba papíru z celulózy), je-li spalován v místě výroby a vzniklé teplo je rekuperováno, odpadní korek. (ČSN EN 15234-1, 2011)

ČSN EN ISO 16993 Tuhá biopaliva – Přepočítání výsledků analýz pro různé stavy biopaliv

Uvádí vzorce, umožňující analytická data týkající se tuhých biopaliv vyjádřit v různých stavech. Analytické hodnoty v konkrétním stavu mohou být vynásobeny faktorem, normou daných vzorců, tím dosáhneme hodnoty pro jiný stav. Stavy mohou být „na vzduchu proschlý“, „bezvodý“ a například „bezpopelná sušina“.

Norma udává další výpočty pro kyslík, vyhřevnost a vodík. (ČSN EN ISO 16993, 2016)

Vodík

Před jakýmkoliv přepočtem se musí vypočítat stav bezvody H_d . Z hodnot H_{ad} stav na vzduchu proschlý, ten zahrnuje vodík spalitelné části i obsah vodíku ve formě vody, viz vzorec (1).

$$H_d = \left(H_{ad} - \frac{M_{ad}}{8,937} \right) * \frac{100}{(100 - M_{ad})} \quad (1)$$

H_d – bezvody vodík

H_{ad} – analytický stav vodíku

M_{ad} – molární hmotnost

Kyslík

Kyslík ve spalitelné části se vypočítá z rozdílu v bezvodé formě, viz vzorec (2)

$$O_d = 100 - C_d - H_d - N_d - S_d - Cl_d - A_d \quad (2)$$

C_d – obsah uhlíku [% hmotnosti]

H_d – obsah vodíku [% hmotnosti]

N_d – obsah dusíku [% hmotnosti]

S_d – obsah síry [% hmotnosti]

Cl_d – obsah chloru [% hmotnosti]

A_d – popel [% hmotnosti]

Vyhřevnost

Vyhřevnost v mokřém stavu při konstantním tlaku se vypočítá dle normy následovně ze vzorce (3).

Díky vzorci (3) můžeme dál přepočítávat z tohoto stavu na stav jiný.

$$q_{p,net,M} = [q_{p,net,M} + (24,43 * M)] * \frac{100 - M^*}{100 - M} - (24,43 * M^*) \quad (3)$$

M- voda, skutečný obsah [% hmotnosti]

M* - obsah vody, opravené hodnota na odpařování tepla

q_{p,net, M}- výhřevnost v mokřém stavu při konstantním tlaku [J/g] (Česká agentura pro standardizaci, 2018)

Dotace a podpora v ČR

Operační program Životního prostředí

Navazuje na program operační program Životního prostředí 2007 - 2013. Oproti předchozímu programu je tento ochuzen o dvě prioritní osy a skládá se tedy momentálně z pěti. Prioritní osy se skládají z těchto oblastí:

1. Zlepšování kvality vody a snižování rizika povodní
2. Zlepšování kvality ovzduší v lidských sídlech
3. Odpady a materiálové toky, ekologické zátěže a rizika
4. Ochrana a péče o přírodu a krajinu
5. Energetické úspory

Tento program se momentálně nachází ve svém období 2014 až 2020, kdy je k dispozici 2,506 miliard eur určený pro regionální rozvoj. Žádat mohou obce, města, organizace státní správy a samosprávy, vědecké instituty a neziskové organizace podnikající. Řídícím orgánem tohoto programu je Ministerstvo životního prostředí, zprostředkující subjektem je Státní fond životního prostředí ČR a Agentura ochrany přírody a krajiny ČR (Operační program Životní prostředí, 2018)

Program EFEKT 2017-2021

Program o podpoře energetických úspor a využití obnovitelných zdrojů podporovaný a iniciovaný Ministerstvem průmyslu a obchodu. Především je to přehledem národních a evropských programů dotací. Hlavním projektem, jak už název celé iniciativy napovídá, je EFEKT, což je státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie. Program se zabývá rozličnou problematikou energetiky a i například zvyšováním

účinnosti využití energie, snižováním energetické náročnosti atd. Pod program EFEKT spadá mnoho dalších menších projektů.

Program EFEKT pojednává o úspoře v konečné spotřebě v malém a středním podnikání. V rámci této podpory jsou poskytovány zvýhodněné úvěry na realizaci všech energeticky úsporných projektů pro malé a střední firmy na území České republiky. (MPO EFEKT,2018)

Program rozvoje venkova 2014 – 2020

Evropská komise odsouhlasila, že do českého zemědělství poputuje 3,1 miliardy Eur. Hlavní myšlenkou programu je zvýšení konkurenceschopnosti zemědělství, udržitelné řízení přírodních zdrojů, vyvážený územní rozvoj a opatření v oblasti klimatu. Program je formulován do šesti hlavních priorit, které zní následovně:

- podpora předávání znalostí a inovace v zemědělství, lesnictví a ve venkovských oblastech;
- zvýšení životaschopnosti zemědělských podniků a konkurenceschopnosti všech druhů zemědělské činnosti ve všech regionech a podpora inovativních technologií v zemědělství a udržitelného obhospodařování lesů;
- podpora organizací potravinového řetězce, zahrnuje i zpracovávání zemědělských produktů a jejich uvádění na trh, dobrých životních podmínek zvířat a řízení rizik v zemědělství;
- obnova, zachování a zlepšování ekosystémů souvisejících se zemědělstvím a lesnictvím;
- podpora účinného využívání zdrojů a podpora změny na nízkouhlíkovou ekonomiku v odvětvích zemědělství, potravinářství a lesnictví, která je odolná vůči klimatu;
- podpora sociálního začlenění, snižování chudoby a hospodářského rozvoje v oblastech venkova. (MPO EFEKT,2018)

Podpora přípravy energeticky úsporných projektů

Energetická komunikační a informační střediska (EKIS) jsou přístupná všem občanům, podnikatelům a zástupcům veřejné správy. Ministerstvo průmyslu a obchodu vždy stanoví

kvalifikované poradce pro určité kalendářní období, kteří jsou zastoupeni ve všech krajích České republiky.

Asistence technické přípravy projektu je také možná v rámci programu EFEKT a to formou dotací na studie proveditelnosti, která ukáže ideální variantu energeticky úsporných opatření. Studie proveditelnosti, energetické posouzení, jsou prováděny přiděleným odborným garantem. (MPO,2017)

Program Zelená úsporám 2013 - 2020

Další z programů Ministerstva životního prostředí, který je administrován Státním fondem životního prostředí ČR, je zaměřen na úspory energie a podporu využití energie z obnovitelných zdrojů v rodinných a bytových domech. Konkrétněji se jedná o rekonstrukce rodinných domů a bytových domů, podporu výměny již nevyhovujících zdrojů k vytápění a užívání obnovitelných zdrojů energie.

Pro rodinné domy jsou tři podporované oblasti:

- úspory stávajících domů (dotace na zateplení, výměny oken a dveří, zateplení střech, stropů a podlah);
- dotace na domy s velmi nízkou energetickou náročností;
- efektivní využití zdrojů (výměna zdrojů na fosilní paliva, výměna elektrického vytápění za systémy s tepelnými čerpadli, instalace fotovoltaických a termických systémů, na instalaci systémů nuceného větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu, dotace na využití tepla z odpadní vody).

Pro bytové domy jsou tři podporované oblasti:

- snižování energetické náročnosti stávajících domů (zateplení, výměny oken a dveří, zateplení střech, stropů a podlah v kombinaci s výměnou zdrojů tepla za zdroje z obnovitelných zdrojů nebo zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu);
- výstavba nových domů s velmi nízkou energetickou náročností (s využitím tepla z odpadních vod, výstavba zelených střech a podobně);
- efektivnější využití zdrojů (jsou stejné pro rodinné domy, navíc je sem zahrnuta výměna plynového vytápění za plynová tepelná čerpadla).

Cílem programu je snížení emisí škodlivých látek a skleníkových plynů v ovzduší, úspora energie v konečné spotřebě a stimulování ekonomiky s výhodami jako jsou zkvalitnění bydlení, zlepšení vzezření našich měst a obcí a mnohé další.

Česká republika financuje tento počín z prodeje emisních povolenek EUA (European Union Allowance) dle zákona č. 383/2012 Sb., o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů. (Nová zelená úsporám, 2018)

Základní pojmy

Briketa

Briketa obecně je nehomogenní těleso, které se skládá ze stlačených komponentů, a to nejčastěji z částí stonků, listů a dřevního odpadu. (Plíštil, 2005, s. 11) Při stlačení komponentů se částice přiblíží na minimální molekulární vzdálenost, při které jsou účinné valenční síly ve formě sil Van der Waalsových. (Kolářová, 2011, s. 22) Bez použití pojiv, výjimkou jsou přísady pouze biologického původu například melasa nebo škrob.

- a. Brikety ze stebelnin – ze suchých drcených stebelnin, sláma z olejnin, travin, energetických rostlin, obilnin a semen plevelů. S obsahem popelu 5 až 6 %.
- b. Dřevní brikety - skládá se z dřevní drtě, pilin a hoblin s obsahem vody 6 až 12 %. S obsahem popelu 0,5 až 1,5 % v sušině. (Petříková, 2006, s 97-98)

Dřevní palivo

Termín zahrnující polena, dřevní štěpku, piliny, hobliny, dřevní šrot, odřezky, papír a zbytky po chemickém zpracování, například výluhy z celulózy. Obsah vody je 6 až 10 % a u briket až 15 %. (Petříková, 2006, s 97)

Palivové dřevo

Nařezané nebo naštípané dřevo s délkou 20 až 100 cm využívané v domácnostech. V domácích spotřebičích jako jsou krb, kamna, kotle a ústřední topení.

Zelená biomasa

Zelená biomasa je biomasa, která je čerstvě posečená nebo svým obsahem vody blíží se čerstvě posečené hmotě. Dále se nerozlišuje dle kvalit. (Česká agentura pro standardizaci, 2018)

Stanovení mechanické odolnosti

Míra odolnosti pelet nebo briket (zhuštěného paliva) je schopnost zachovat neporušenou formu během přepravy, manipulace nebo zkoušení. Ke zjištění mechanické odolnosti se využívá bubnu s lopatkami, kterými je buben rozdělen. Narážáním do lopatek a stěn bubnu dochází k otěru. Mechanická odolnost je také označována jako DU z anglického „mechanical durability“. (TÜV NORD Czech, 2018)

Štěpka

Štěpka je štípaná dřevní biomasa mechanickým způsobem. Dřevní štěpka je našťipaná do obdelníkových tvarů s oblými okraji do nejčastější délky 5 až 55 mm s minimální tloušťkou. (Česká agentura pro standardizaci, 2018) Štěpka se využívá u kotlů a kamen s vyšším výkonem. Jedná se o levný druh paliva kvůli absenci procesu sušení a lisování. Štěpku lze spalovat nestlačenou, zpracovanou na drobné částičky drtičem nebo štěpkovačem. Avšak volně ložená štěpka je náchylná k plesnivění a zapařování, navíc je náročnější na prostor při skladování.

Zelená štěpka, nebo také štěpka lesní, je získávána ze zbytků z lesní těžby. Obsahuje části větví, listů nebo jehličí. Tento typ štěpky má vysoký obsah vody, protože se zpracovává jako čerstvá hmota, proto také zelená štěpka.

Hnědá štěpka je pouze z odpadových částí kmenů, odřezků z pily a hlavním obsahem je kůra. Před zpracováním kmenů nikdy nedochází k odkornění.

Bílá štěpka je opakem hnědé štěpky. Vyrábí se z odkorněných kmenů stromů a z odřezků z pily. Tento druh štěpky se převážně využívá pro výrobu dřevotřískových desek. (Stupavský, Holý, 2010)

Briketovací lisy a příprava materiálu

Drcení

Velikost materiálu pro briketování je 15 mm s minimální sypnou hmotností $70 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, proto je často nutno před samotným briketováním materiál nadrtit. Drcení rozhoduje o kvalitě vyrobené brikety, používá se obvykle u materiálu jako je papír a sláma. Platí, že čím menší jsou částice materiálu tím kompaktnější a kvalitnější briketa je, toto však neplatí pro extrémně malé prachové částice.

Ikdyž používáme odpad, je třeba dbát na to, abychom používali odpad tříděný, tím je myšleno žádné velké suky, písek, kameny nebo kovové části jako jsou hřebíky. Tyto části mohou poškodit nebo se zaklínit v lisu. (EnviWeb, 2013)

Sušení

K tomu se používají tzv. sušárny, pro výběr bychom měli uvážovat kapacitu, tepelný výkon, druh sušených látek a plánovaný režim provozu. Dva základní typy jsou:

Konduktivní sušárny nejčastěji využívají pro vytápění páru, kdy sušený materiál a tepelné těleso jsou v přímém kontaktu. Tento typ sušáren využívá snížený tepelný odpor oproti druhému typu sušáren.

Konvektivní sušárny využívají teplý vzduch nebo spaliny jako sušící prostředí. Sušící médium a sušený materiál nejsou v přímém kontaktu. (Utěšil, 2009)

Mechanické lisy

Nejvyšší tlak je v lisovací komoře, ze které je vytlačována nekonečná briketa později rozřezávaná pilou na výstupu. Tvar je většinou válcový, ale jsou možné i jiné tvary. U některých tvarů se nechává otvor ve středě z důvodu lepšího odhořívání. Lis pracuje na principu klikového mechanismu.

Hydraulické lisy

Hydraulické lisy jsou levnější než lisy mechanické, ale jsou i méně výkonné. Jsou vhodnější pro briketování stébel a pilin. Konečný produkt má menší trvanlivost než je tomu u mechanických lisů. Výhodou hydraulických lisů je zřetelně vyšší tolerance k vlhkosti materiálu.

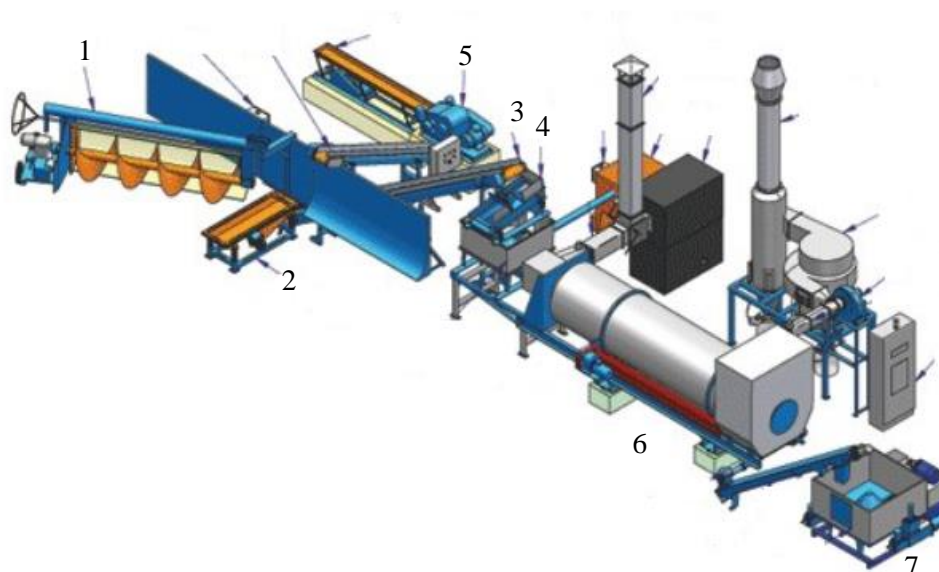
Briketovací linky

Firma BRIKLIS vyrábí briketovací linky, které jednoduše materiál vezmou ze sypké hmoty na hromadě a dále prochází tříděním, sušením až po lisování. Konkrétně tato firma vyrábí briketovací linku ve více výkonových provedeních: 200, 400, 600, 800 a 1000 kg briket za hodinu.

Mokrý piliny jsou navedeny na hromadu, ze které si šnek přihrnuje materiál. Dopravníkem se přesune materiál do bubnové sušárny, která používá teplo ze spalovaného dřevního

odpadu v kotli. Mokrý materiál a příliš velké kusy jsou vytřeseny na vibračním síti (dřevní odpad padá rovnou do kotle ke spálení). Za sušárnou je umístěn ventilátor pro zbavování prachových částic. Takto ošetřený materiál je dopravován šnekovým dopravníkem do zásobníku briketovacího lisu.

Obr. 1 Briketovací linka BRIKLIS



- 1 – příhrnovací šnek
- 2 – vibrační dopravník
- 3 – pásový dopravník
- 4 – vibrační třídič

- 5 – nožová sekačka
- 6 – sušárna
- 7 – briketovací lis

Zdroj: <http://www.briklis.sk/index.php/briketovacie-lisy-na-drevo/briketovacie-linky>

Šnekové lisy

Tlak je vytvářen otáčením šneku v konické komoře. Šnekové lisy jsou schopny vytvářet vysoké tlaky, proto soudržnost brikety je velmi vysoká. Typy pracovních těles jsou jednošnekové, vícešnekové, diskové, pístové a ostatní. Lisy s více šneky se mohou rozdělovat dle pohybu pracovních těles na paralelní a kuželovité, neboli zužující se k sobě. Příkon se pohybuje kolem 50 kW. Pokud je potřeba dodatečných operací a jsou k tomu připojeny dodatečná zařízení, příkon se může zvýšit na 70 kW a více. Jsou k použití jen pro sypké vstupní materiály nikoliv pak pro stébelné materiály. (Kolářová, 2011, s. 39) (Havrland, Pobedinschi, 2011, s. 60-61)

Roller lisy

Používá daleko menší průměry než 25 mm, proto konečné výrobky nazýváme pelety. Princip je jednoduchý. V tenkém kovovém disku jsou otvory, kterými je materiál pod vysokým tlakem vytlačován. Jsou dva typy lisů, plochý a prstencový. Plochý typ má perforovaný disk, na kterých rotují dva nebo více válečků u prstencového typu. Už z názvu vyplývá, že váleček bude jezdit po obvodu prstence. (CHEN, XING, HAN, 2009, s. 2693) (Havrland, Pobedinschi, 2011, s. 60-63)

Materiály pro briketování

Dle konečného využívání briket se mohou používat i materiály, kterými jsou například plast, kůže, textil, polyuretanová pěna a různé prachové částice zachytávané ve vzduchových filtrech při výrobě. Zbytkový materiál z výroby ke zbriketování může být papírová buničina, prach, tabák a bavlněný odpad. (Kolářová, 2011, s. 21-22)

Všeobecně u materiálů je důležitá vlhkost, která by se měla pohybovat mezi optimem 4 - 10 %. Nicméně pro některé materiály je vyžadován vyšší limit vlhkosti, a to počínaje 6 % až 8 %. Vlhkost je limitovaná schopností zformovat briketu, kdy při vyšším obsahu vody je riziko popraskání povrchu vyšší, čímž briketa ztrácí na své ceně při prodeji. Dalším rizikem překročení optimálních hodnot vlhkosti je vybuchnutí při stlačování brikety, zapříčiněné přetlakem vodní páry, proto je u některých materiálů před samotným lisováním nezbytné provést namletí a sušení. (Havrland, Pobedinschi, 2011, s. 58-59)

Hustota je jedním ze základních ukazatelů kvality. Obecně řečeno čím vyšší je hustota, tím je briketa kvalitnější. S nižší hustotou klesá hodnota výhřevnosti. Typická čísla pro tento ukazatel jsou 15 – 19 MJ/kg. (Havrland, Pobedinschi, 2011, s. 59)

Biomasa

Biomasa je definována jako živočišná a rostlinná hmota na zemském povrchu. Zahrnuje hmotu z rostlin, stromů, řas a dalších rostlin ze zemědělské produkce. Zároveň se započítává i odpad vyprodukovaný lidmi například z potravinářského a nápojového průmyslu, kaly, hnůj a odpad z domácností. Je nespočet možností pro konečné využití biomasy jako biopaliv. Používá se pro termální vytápění, produkci elektrické energie a na paliva. Biomasu bychom mohli považovat za formu solární energie, která je skladována

skrze proces fotosyntézy. Oxid uhličitý, který je zachycován rostlinami ze vzduchu, je zpět uvolněn do ovzduší při procesu spalování. (Lee, Shah, 2014, s. 1-2)

Biomasa je třetí nejvyužívanější primární energií ve světě. Správně zpracovaná biomasa je palivo obnovitelné a trvale udržitelné a v porovnání s jinými fosilními palivy je znatelně nižší na emise uhlíku. Je to ideální prostředek ke snižování skleníkových plynů a efektivním nástrojem pro Mechanismus čistého rozvoje (CDM, Clean Development Mechanism). (CHEN, XING, HAN, 2009, s. 2690). Do ovzduší se uvolní stejné množství CO₂ jako bylo absorbováno rostlinami při fotosyntéze.

Další výhodou použití biomasy je to, že k jejímu zatápění není potřeba žádných speciálních prostředků. Jsou k využití v obyčejných kamnech i s menší kapacitou vytápění (do 50 kW) s přerušovaným využíváním. Výhřevnost briket z biomasy je porovnatelná s uhlím a je jeden a půl krát vyšší než dřevo. V číslech to znamená, že spálení 1000 kg briket je srovnatelné se spálením 1600 kg dřeva. Výhodu najdeme i v efektivnějším transportu briket. Materiál je stlačen 4 až 12 krát. (Havrland, Pobedinschi, 2011, s. 59-60)

Chemické složení biomasy je 50 % uhlíku, 43 % kyslíku, 6,5 % vodíku a minimální obsah dusíku a síry. Biomasa obsahuje 70 až 90 % prchavé hořlaviny, což je daleko vyšší než u hnědého uhlí, a proto hoří vysokým plamenem. (Kolářová, 2011, s. 26-27)

Za zmínku zcela jistě stojí i využití briketování biomasy jako krmiva pro hospodářská zvířata. Stlačená biomasa umožňuje snadnější zkrmování a přidání příměsí minerálů a jiných pro zvířata důležitých živin. (Havrland, Pobedinschi, 2011, s. 59-60)

Odpad ze zemědělství

Odpad ze zemědělství je v největším množství ze sklizně a zpracování obilnin a olejnin. Využívána jsou semena plevele, slupky, stonky, sláma a úlomky zrn, odpad vznikající na posklizňových linkách, nebo na místech, kde se plodina zpracovává a čistí. Část odpadu je možno využít jako krmivo pro hospodářská zvířata, dále pak ke kompostování nebo skládkování, což je varianta nejméně ekologická a navíc drahá. Nejvýhodnějším využitím je přetvoření v paliva. (Kolářová, 2011, s. 31)

Okrajová je ovocná biomasa, jedná se o sadové ovoce a zbytek z ovoce po průmyslovém zpracování, například vylisované zbytky po výrobě oleje nebo džusů. (Malaťák, Vaculík, 2008, s 12)

Energetické rostliny

K energetickému využití se používají dřeviny, trvalky a byliny botanických druhů, přírodních i modifikovaných kříženců za účelem energetického použití. Nejvyužívanější rostlinou je Eukalyptus, česky někdy nazývaná Blahovičník, který čítá více jak 700 druhů tropických a subtropických keřů a stromů. (Kolářová, 2011, s. 35)

Od roku 2000 Ministerstvo zemědělství zahrnuje do energetických rostlin i rychle rostoucí dřeviny (RRD).

Základní dělení je na **polní energetické rostliny, rychle rostoucí dřeviny a energetické trávy**. Příklady polních jednoletek jsou čírok, horčice sareptská, světlice barvířská a konopí. Víceleté až trvalé jsou například Miscanthus alias ozdobnice čínská, krmný šťovík a topinambur. Příklady víceletých a vytrvalých energetických trav jsou chrastice rákosovitá neboli lesknice, psineček veliký, svěřep bezbranná, ovsík vyvýšený a kostřava rákosovitá.

Rostlinu vybíráme dle výnosů, což znamená, že chceme co největší nadzemní hmotnost. Častěji jsou používány víceleté a vytrvalé rostliny, jednoletky se pěstují pouze pro zvýšení diverzifikace pěstovaných plodin na poli.

Seznam níže zmíněných plodin je vhodný pro pěstování v našich podmínkách. Jsou však další energetické rostliny, které nejsou takzvaně provozně ověřené, těmi jsou například: Sida vytrvalá, Jestřabina východní, Můžák prorostlý. (Petříková, Weger, 2015, s. 13)

Krmný šťovík

Je jedna z nejprověřenějších rostlin v našich půdněklimatických podmínkách. Dle produkce suché biomasy je srovnatelný s RRD. Výhody šťovíku spočívají ve výnosu, rostlina dosahuje výšky až 2,5 m a při dobré péči je schopen vytrvat na jednom stanovišti až 10 let. Rostlina navíc není postihována žádnou závažnou chorobou. Je k využití v půdách erozně ohrožených, je tedy vhodný i do vyšších poloh a svahů. U nás je povolena odruda Rumex OK 2.

Rostlina obsahuje vysoký podíl živin, dusíkatých látek a cukrů. Se stárnutím tkáně rostliny se zvyšuje i obsah vlákniny. Ze šťovíku je palivo výkonnější s vlastností lepšího spalování než například ze slámy. Šťovík je spalitelný až do 30 % vlhkosti, sláma pouze do 20 %. Výkupní cena se dle výhřevnosti stanovuje na 1000 až 1200 Kč/t, ale mnohdy je cena

pouze 300 Kč/t, a to z důvodu, že je z neznalosti srovnáván se slámou. (Petříková, Weger, 2015, s. 15-50)

Čirok

Je teplomilnější rostlina, proto se u nás pěstuje jen v malém měřítku na jižní Moravě. V porovnání s kukuřicí je ekonomičtější pěstování čiroku, pro menší spotřebu vody a to o polovinu. Je také méně náročný na typ půdy. Čiroku se daří i na chudších půdách. Pro potřeby k vytápění se využívá typ Čirok zrnový. Čirok cukrový se spíše využívá do bioplynových stanic. (Petříková, Weger, 2015, s. 51-58)

Konopí seté

Rostlina dorůstá do výšky 2 až 6 metrů, proto se na půdě nedaří plevelu a nemusí se řešit používání chemických prostředků. Slouží jako ochrana půdy před erozí a má asanační vlastnosti. Půdu zbavuje těžkých kovů a nejrůznějších jedovatých látek. Rychlý růst konopí má za následek dvaapůlkrát větší nárůst fytohmoty za rok než je tomu u stejné plochy lesa.

Pro energetické využití se využívá dřevitá hmota – pazdeří. Výhřevnost briket je při 9 % vlhkosti 16,5 až 18,2 MJ/kg. Obsahuje malé množství popela 2,5 %, které je posléze možné použít jako ekologické hnojivo. (Petříková, Weger, 2015, s. 59-67)

Hořčice sareptská

Dorůstá výšky až 1,8 metru a svým vzezřením připomíná známou řepku. Pro energetické účely je vhodná z důvodu možnosti využití celé nadzemní hmoty jen s výjimkou semen, která jsou prvotním produktem pěstování pro potravinářský průmysl. Rostlina není náročná na půdu ani na klimatické podmínky. Na našem území zatím není rozšířené pěstování plodiny mimo oblast Chomutovska a Žatecka, byla by však vhodnou rostlinou pro diverzifikaci osevního cyklu zemědělské půdy. Byla by vhodná z dlouhodobého hlediska k přispívání ekologické stabilitě zemědělské krajiny. (Petříková, Weger, 2015, s. 69-72)

Ozdobnice čínská

Ozdobnice čínská, latinsky Miscanthus, je jednou z mála rostlin bylinného typu, která dorůstá výšky až 4 metry. Je to rostlina vytrvalá a je schopna vytrvat až 20 let. Rostlina je

velmi náchylná na mráz a vyžaduje rovnoměrné srážky během vegetace rostliny. Výnosy plodiny jsou kolem 20t/ha suché hmoty. (Petříková, Weger, 2015, s. 80) (Technologie pro spalování biomasy, 1999, s 14)

RRD – Rychle rostoucí dřeviny

Forma zemědělství založena na rychlé regeneraci, ve smyslu možnosti opakované sklizně s absencí potřeby zakládat vždy nový porost. Do RRD jsou řazeny dřeviny, které mají roční přírůstek více jak 10 m³ na hektar. Trend zakládání plantáží je na vzestupu po celé Evropě i z důvodu dotací od Evropské unie. V České republice jsou příznivé podmínky pro pěstování topolů a vrb, ale reálně je zatím používán jen japonský topol neboli klon J-105.

V našich podmínkách jsou výmladkové plantáže sklizeny ve velmi krátkém obmětí, které se pohybuje mezi 3 až 6 lety, při 20 leté životnosti se plantáže sklízí 4 až 8 krát. Další velkou výhodou RRD je možnost sklízet v zimních měsících, kdy je těžká technika schopna se jednoduše pohybovat po zamrzlé půdě, navíc v tomto období je minimální obsah vody v dřevině. Konečný produkt k energetickému použití je převážně štěpka, která je využívána v teplárnách. (Petříková, Weger, 2015, s. 128-137)

Dřevo

Lesní a plantážové dřevo

Je minimálně upravované dřevo z plantáží, lesů, parků a RRD. Odkornění, vysušení nebo zvlhčování dřeva a redukce velikosti částic jsou jediné úpravy, které se mohou provozovat.

Vedlejší produkty a zbytky z dřevozpracujícího průmyslu

Chemicky nedotčené zbytky dřeva nebo chemicky ošetřeny, ale bez obsahu těžkých kovů. Produkty bez povrchového či konzervačního ošetření a bez nátěru.

Použité dřevo

Nesmí obsahovat těžké kovy a nesmí projít konzervační úpravou povrchu. Nesmí také obsahovat povrchový nátěr. (Malat'ák, Vaculík, 2008, s 11)

Skladování briket

Vlastnosti briket jsou specifikovány jednotně v celé Evropské unii. V České republice jsou regulovány Ministerstvem životního prostředí. Technické normy ČSN EN 14961-1 a ČSN EN 15210-2. zahrnují požadavky na brikety z dřevěného odpadu, jejich mechanickou trvanlivost a popis zkušebních zařízení. Uvedené standardy a směrnice nezahrnují informace o pevnosti briket. (Brožek, 2016, s. 1454)

Důležitým aspektem ovlivňující nejenom kvalitu briket, ale i jejich skladování, je vlhkost použitého materiálu. Obecně řečeno nízká vlhkost je příčinou nízké kvality finální brikety. Avšak se zvyšující se vlhkostí se snižuje ukazatel schopnosti hoření. Ideální hodnota vlhkosti je rozdílná pro každý materiál, většina autorů se však shoduje na mezi 9 až 18 %. Změna vlhkosti briket je závislá na podmínkách skladování. (Brožek, 2016, s. 1454)

Pro skladování je důležité stanovení optimálního objemu uschovávaného materiálu. Jednoduchým pravidlem, pokud to podmínky dovolují, je velikost prostoru, který umožní skladování celé roční spotřeby. Je to výhodné i z ekonomického hlediska, protože cena paliva v topné sezóně bývá obvykle vyšší. Pro domácí využití, kde budeme využívat kotel o výkonosti 1 kW, by roční spotřeba briket byla přibližně 0,6 t ($1\text{m}^3/\text{kW}$).

Velikost skladovacího prostoru lze také vyvodit z celkové ztráty tepla budovy. Platí, že u pelet se řídíme pravidlem 1 kW tepelné ztráty budovy bude $0,9\text{ m}^3$ prostoru pro skladování. Pro brikety to bude o něco málo více z toho důvodu, že brikety jsou méně skladné než pelety. Distribuce se řeší buď 15 kilovými pytli nebo velkoobjemovými vaky, které pojmu až 1 t. Distribuce je dále možná cisternami pro pneumatickou zavážku nebo pro volně ložený materiál.

Celý systém přikládání lze zautomatizovat a to silem s automatickými podavači, které reagují na aktuální požadavek kotle. Ty jsou řešeny mechanickými šneky nebo pneumatickými hadicovými dopravníky. (Stupavský, 2010)

Vlastnosti briket pro energetické využití

Sledované vlastnosti standardizovaných tuhých paliv jsou: obsah vody, popel a výhřevnost, viz vzorec (4).

Neméně důležité jsou vlastnosti briket, které mají vliv na životní prostředí: obsah síry, dusíku, chloru, fluoru a těžkých kovů.

Z energetického hlediska je nutné stanovit obsah a poměr vody (W), popela (A), prchavých hořavin (V) a neprchavý zbytek (NV). Hodnota prchavé a neprchavé hořavin v původním vzorku (C) je vypočítaná ze vzorce (5).

$$A + C + W = 100 [\%] \quad (4)$$

$$C = NV + V [\%] \quad (5)$$

Z energetického hlediska je důležitá analýza prchavé hořavin, popela a neprchavého zbytku. Při procesu spalování se neuvolňuje teplo ze složek popela a vody, proto se označují jako balast nebo přítěž. Obsah hořavin (prchavé hořavin a neprchavý zbytek) je důležitý z tepelně-technického hlediska. Výše zmíněné složky snižují kvalitu briket. (Kolářová, 2011, s. 44)

$$W + C + H + o + S + N + a = 100\% \quad (6)$$

Ze vztahu rovnice (6) vyplývá hmotnostní podíl vody, uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíku a popela v původní hmotnosti. Hořlavé části brikety jsou uhlík, vodík, síra a dusík. S výjimkou dusíku jsou látky součástí exotermických reakcí spolu se vzdušným kyslíkem. (Malat'ák, Vaculík, 2008, s 36)

Odběry vzorků podle normy ČSN 18135

Tato norma hovoří o odběru vzorků ze skladovaného i nezpracovaného materiálu. Začíná se vizuální kontrolou vzorku. Zkoumáme zdali materiál je homogenní či heterogenní. Pokud nalezneme části kovů nebo půdy, měli bychom už zde zaznamenávat poznatky o kvalitě do konečného certifikátu, který je výstupem celého procesu.

Dále v normě jsou popsány nástroje pro samotný odběr vzorků. Otvor pro odběr vzorků by měl být přinejmenším dva a půlkrát větší než nominální maximální hodnota a dostatečně velký i pro nadměrné velikosti ve vzorku. Zařízení pro odběr vzorků mohou být pro manuální i mechanické odebírání. Pro manuální odběr vzorků z volně padajícího materiálu slouží krabice, která je pro větší rozměry materiálu i pro odebírání materiálu menší velikosti, z příliš rychle proudícího materiálu.

Lopatky, lopaty, vidlice, lopaty (příslušenství ke stavebním strojům), sondy, trubky, háky a šneky jsou všechny nástroje definované normou k manuálnímu odebírání vzorků. Pro

mechanické odebírání z volně padajícího proudu materiálu používáme příčný řemen, mechanické sondy nebo mechanické šneky.

V praxi je důležité odebraný vzorek ihned přesunout bez jakýchkoliv ztrát do vzduchotěsného plastového kontejneru. Tato operace je nutná, abychom zabránily ztrátě vlhkosti, hmotnosti, čistoty a podobně.

Metody pro stacionární odběr vzorků jsou odlišné - *Odběr vzorku z balíku menší jak 50 kg* by měl být vybrán náhodně a z celého obsahu, aby obsahoval všechny složky materiálu, pro průkaznost testu. Tento stejný scénář používáme i při odebírání vzorků z kontejnerů, vagonů nebo nákladních aut. Musíme odebrat z každého kontejneru více vzorků a to z různých částí.

Ze skladovaných materiálů se doporučují odebírat vzorky v průběhu tvoření haldy. Jakmile je halda větší než 40 tun, je to průkaznější způsob. (ČSN 18135, 2017)

Obsah vody

Je součástí každého tuhého paliva, přičemž rozmezí obsahu vody v tuhých palivech kolísá od 0 až do 60 %. Přirozený obsah vody v palivech se řídí dle jejich stáří. Obecně platí, že čím mladší palivo je, tím vyšší obsah vody se v něm vyskytuje. Obsaženou vodu bychom mohli rozdělit na volnou a vázanou. Voda kapilárně vázaná se dělí na hrubou, hygroskopickou a ukludovanou.

Poslední typ kapilárně vázané vody nelze z tuhých paliv odstranit, uvolňuje se až při rozkladných teplotách samotného paliva.

Hygroskopická voda se odstraňuje sušením za vysokých teplot, okolo 105 °C. Vodu hrubou stanovíme rozdílem hmotnosti před a po sušení na vzduchu.

Tab. 2 Obsah vody energetického št'ovíku

	Obsah vody (% hmotnosti)	Výhřevnost (MJ/kg)
Brikety energetického št'ovíku (průměr 100 mm)	7,75	16,86
Brikety energetického št'ovíku (průměr 88 mm)	3,89	17,07

Zdroj: Malašák, Vaculík, 2008, s 38-39

Obsah popela

Popeloviny jsou minerální látky před spálením. Jsou složeny z křemičitanů, síranů, uhličitanů a mnoha dalších sloučenin. Nejvyšším podílem jsou křemičitany uhlíku, železa, hořčíku a vápníku, volný oxid křemičitý, uhličitan železnatý a vápenatý. Z popelovin po spálení vzniká tuhý zbytek, kterému se laicky říká popel. Popel vzniká za teplot pohybujících se okolo 800 °C v oxidační atmosféře.

V tuhých palivech rostlinného původu je obsah popele velmi nízký. Palivo z dřevního paliva má o 86 % nižší obsah popele než je z hnědého uhlí. Tento pozitivní přínos se projevuje v nižších emisích pevných částic popílku a při spalování se zbavujeme nutnosti průběžného odvodu tuhých zbytků po spalování. (Malat'ák, Vaculík, 2008, s. 41)

Výhřevnost a spalné teplo

Procesem spalování se palivo a kyslík přetváří na spaliny. Při tomto procesu vzniká teplo, které vyjadřujeme ve vztahu k hmotnosti – $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. V praxi hovoří o spalném teple nebo také o výhřevnosti.

Spalné teplo je popisováno jako množství tepla uvolněného při dokonalém spálení jednotky měření paliva - $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Musí být splněny dvě podmínky, a to že se spaliny se schladí na 0 °C a pára se zkondenzuje. Spalování probíhá ve spalovacích zařízeních za teplot vyšších jak 100 °C a pára se využívá u tepelných výpočtů „výhřevnosti paliva Q“.

Výhřevnost je popisována, jako množství tepla uvolněného při dokonalém spálení jednotky měřícího paliva., při ochlazení spalin na 0 °C a vlhkost paliva, která zůstává ve spalinách ve formě vodní páry. Výhřevnost vychází nižší než hodnota spalného tepla. Liší se o teplotu potřebnou pro změnu vody v páru. V praxi se spíše uvažuje s výhřevností paliva, protože z topeniště uniká odpařená voda se spalinami do komína a ke kondenzaci nedochází. (Malat'ák, Vaculík, 2008, s 43-44)

Prchavá hořlavina

Obsah prchavé hořlaviny záleží na stáří konkrétního paliva. Obecně řečeno, čím je palivo geologicky mladší, tím vyšší je obsah prchavé hořlaviny. Pomáhá vznícení paliva a stabilizuje proces spalování. Na první pohled poznáme vysoký obsah prchavé hořlaviny podle dlouhého plamene. (Malat'ák, Vaculík, 2008, s 45)

Emisní charakteristika

Biomasa je vnímána jako neutrální při emisi oxidu uhličitého, což může být zkreslená představa, protože strom roste desítky let, ale my dřevo spálíme v řádu hodin. V závislosti na způsobu spalování mohou vznikat škodliviny jako polyaromatické uhlovodíky a dioxiny.

Nedohořelý CO vypovídá o špatném množství vzduchu při spalování nebo o nevhodné konstrukci kotle pro dané palivo. Emise NO_x jsou ovlivňovány obsahem dusíku v palivu a teplotou komory pro spalování, takže nízko výkonnostní kotle nedosahují teplot, kdy dochází k tvorbě emisí NO_x . Společnost se nejvíce zaobírá emisí CO_2 , které u biomasy dosahuje stejného objemu jako bylo absorbováno za růstu rostliny. (Koloničný, 2010)

Emisní limity jsou maximální možné množství znečišťujících látek vypouštěné do ovzduší, limity SO_2 , CO_2 , NO_x a tuhých znečišťujících látek jsou stanoveny zákonem o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. Zákon stanovuje emisní limity a podmínky pro provozování stacionárních spalovacích zdrojů znečišťování. Vyhláška č. 201/2012 Sb. Ministerstva životního prostředí sestavuje seznam znečišťujících látek a požadavky na vedení evidence znečišťujících zdrojů ovzduší.

Emisní limity vyhlášené pro ochranu zdraví lidí se vztahují na tepelné zdroje v rozmezí 10 až 300 kW a dále na tepelné zdroje nad 300 kW. Vztahují se na látky: oxid siřičitý, oxid dusičitý, oxid uhelnatý, benzen, částice PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ a olovo. Škodlivé částice PM_{10} je soubor látek: arsen, kadmium, nikl a benzoapyren. Kontrolují se jednou za kalendářní rok a prověřují se zprůměrované hodnoty. Zákon udává i maximální počet překročení emisí výše uvedených škodlivých látek a následné finanční pokuty za nedodržení.

Od ledna 2018 platí pro zdroje 300 kW a nižší, mezní hodnoty emisí: CO ($1200 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ pro ruční a $1000 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ pro zdroje se samočinnou dodávkou paliva), celkový organický uhlík s výjimkou methanu ($50 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a $30 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ se samočinnou dodávkou paliva).

Tab. 3 Emise CO

	Jmenovitý tepelný příkon	CO	Celkový organický uhlík (s výjimkou methanu)
Ruční dodávka paliva (biologické palivo)	≤ 65	5000 mg.m ⁻³	150 mg.m ⁻³
	> 65 až 187	2500 mg.m ⁻³	100 mg.m ⁻³
	> 187 až 300	1200 mg.m ⁻³	100 mg.m ⁻³
Samočinná dodávka paliva (biologické palivo)	≤ 65	3000 mg.m ⁻³	100 mg.m ⁻³
	> 65 až 187	2500 mg.m ⁻³	80 mg.m ⁻³
	> 187 až 300	1200 mg.m ⁻³	80 mg.m ⁻³

Zdroj: Česká agentura pro standardizaci, 2018

Sypná hmotnost

Sypná hmota se používá pro určení hustoty energie nebo v praxi pomáhá odhadnout skladovatelnost a tím i nároky na přepravu. Tento parametr se stanovuje normou **ČSN EN ISO 17828**. Jde o hmotnost, kterou má biomasa v normované nádobě. Při výběru velikosti normované nádoby a vhodné váhu bereme v potaz, jestli jde o peletu či briketu. Sypná hmota vychází v jednotce kg.m⁻³. (Kotlánová, 2010) (ČSN EN ISO 17828, 2016)

Mechanická odolnost

Hodnotí se pouze odolnost proti otěru u briket a pelet. Otěr je hmota, která z biopaliva odpadne a mechanická odolnost hodnotí hmotu vzorku, která zůstala. Konkrétně pro brikety je metoda zkoušení popsána v normě ČSN EN ISO 17831-2. (Kotlánová, 2010) (ČSN EN ISO 17831-2, 2016)

Zařízení na spalování biomasy

Při výběru kotle pro vytápění konkrétního objektu je zásadní spotřeba tepla. Každá budova má jinou schopnost udržovat vnitřní teplo. Tato schopnost je dána stavební konstrukcí, úrovní zateplení objektu a celkovou velikostí budovy. Tepelná ztráta je ovlivněna vnitřním i vnějším prostupem tepla. Vnitřní prostup tepla znamená prostup tepla stěnami, okny, podlahou a systémem cirkulace vzduchu. Další ovlivňující faktor je venkovní teplota. Čím chladněji bude mimo objekt, tím je vyšší vyšší tepelná ztráta.

Základní požadavky na topidla jsou dokonalé spalování paliva s minimálním přebytkem spalovacího vzduchu, rychlá a snadná regulace tepelného zatížení ohniště, účinnost odvodu tepla do vytápěných objektů, spolehlivost, jednoduchá obsluha. (Kolářová, 2011, s. 54)

Zařízení na spalování biomasy

Rozdělení kotlu dle výkonu a využití:

- 20 až 50 kW rodinné domy;
- 50 až 100 kW malé provozy (malé hotely a obchody, živnostenské provozovny a pohostinství);
- 100 až 300 kW obecní infrastruktura, školky, školy a obecní úřady;
- 100 až 500 kW zemědělské podniky s dílnami a provozy živočišné výroby;
- 500 až 2 000 kW centrální vytápění obcí (kde mohou být připojeny byty, podniky a objekty služeb například).

Kotle na pevné palivo pro ústřední vytápění do výkonu 500 kW se rozdělují podle normy z roku 2013 ČSN EN 303-5 na následující:

Litínové kotle

Jediná možnost regulování výkonu litinových kotlů je skrze množství paliva přidaného do násypky a regulace klapkou na sání vzduchu. Tento typ kotlů je vhodný pro kusové dřevo

o vlhkosti do 30 % a naopak se nedoporučuje zatápění drobnými kusy dřeva a odpadu ze dřeva. Účinnost je nízká okolo 60 % a emisemi se řadí do třídy 1.

Ocelové kotle

Regulace je jednodušší než u prvního typu kotlů a to za pomoci primárního nebo sekundárního sání vzduchu. Pro zatápění ocelových kotlů je vhodné použít drobnější dřevo nebo dřevní odpad. Ocelové kotle se zařazují do 2. emisní třídy.

Ocelové kotle speciální, tzv. zplyňovací

Výkon je možné regulovat v rozmezí 50 až 100 % jmenovitého výkonu kotle a dosahuje vyšší účinnosti až 75 %. Nejvhodnější palivo je dřevo větších kusů, brikety i dřevní odpad s vlhkostí do 20 %. Zařazují se do 2. nebo 3. emisní třídy.

Automatické kotle

Zahrnuje skupinu kotlů, které umožňují až několikadenní bezobslužný provoz. To je docíleno díky zásobníkům paliva o velkém objemu, ze kterých se palivo do kotlů automaticky doplňuje a dávákuje. Využívá se rozměrově menších paliv jako je štěpka, pelety, piliny i dřevní odpad. Tento fruh kotlů spadá do 3. emisní třídy. (Kolářová, 2011, s. 56) (ČSN EN 303-5, 2013)

Ekonomické hledisko briketování

Ekonomické hledisko je důležité u jakékoliv činnosti nebo výroby. Pro briketování je ale velmi těžké stanovit náklady na výrobu. Důvodem je časté použití odpadu ze zemědělství nebo z těžby dřeva, kde není jednoznačné určit, kolik tento materiál stojí.

Nejdůležitějším a nejzákladnějším nákladem pro briketování je vstupní materiál. Ceny vstupních materiálů se ovšem během roku také mění, a to dle poptávky. V létě tedy biomasu nebo odpad z dřevařského průmyslu pořídíme za daleko nižší cenu, pokud materiál na výrobu briket kupujeme a nepoužíváme zbylé suroviny ze své činnosti.

Dalším problémem při ekonomickém hodnocení výroby je nejistota ohledně dostupnosti materiálu vhodného pro briketování

Hlavním předpokladem je nepřetržitý celoroční provoz briketárny, dále levné vstupní materiály a efektivní a ekonomický proces sušení biomasy. Zkušenosti briketáren jsou, že výsledné brikety mají dvojnásobnou cenu než byla původní vstupní surovina. Náklady na

spotřebovanou energii na výrobu briket je zanedbatelná položka v porovnání se vstupní surovinou, je to méně než 5% celkových nákladů.

Briketárna by měla být nadimenzovaná na minimální výkonnost 1 tunu za hodinu při čtyřsměnném provozu. Tyto údaje vychází ze zkušeností briketáren a peletáren.

Skladba nákladů:

- nákup suroviny a sušení více než 50%
- energie na briketování méně než 5%
- energie přímých výrobních nákladů 18 - 23%
- opravy, mzdy, nájem budov méně než 22% (Kolářová, 2011, s 58)

5 Vlastní řešení

Brikety mají veliký potenciál v budoucnosti v oblasti paliv z obnovitelných zdrojů. Nejčastějšími materiály jsou většina druhů rostlinné biomasy, dále jsou to klasické materiály využívané pro spalování, jako je dřevo ve všech svých formách i papír. Méně klasické u nás jsou energetické traviny, jak již bylo zmíněno v první části práce.

Využití biomasy je populární a ekologické z více důvodů, hlavním důvodem je šetrnost k životnímu prostředí, což je důsledkem toho, že při spalování briket nedochází k vytváření škodlivých látek. Rostlinami zadržované CO₂ je uvolňováno v řádu hodin a strom či rostlina rostla a pohlcovala oxid uhlíčitý roky. Ale většinový přístup je, že spalování je šetrné k přírodě a dochází k uvolňování CO₂ do ovzduší, přesně v tom množství, které bylo v biomase zadrženo při fotosyntéze.

Potenciál do budoucna představuje hlavně z důvodu lokální výroby, kdy by nebylo potřeba dovážet speciální materiály do lokality, kde se materiál zpracovává a později i využívá k vytápění. Tím by vznikla nová pracovní místa a zvýšila by se samostatnost v místě, kde by se palivo a brikety využívaly. Jak již bylo zmíněno v teoretické části, Ministerstvo životního prostředí se snaží tuto alternativu podporovat a to skrze dotace a granty.

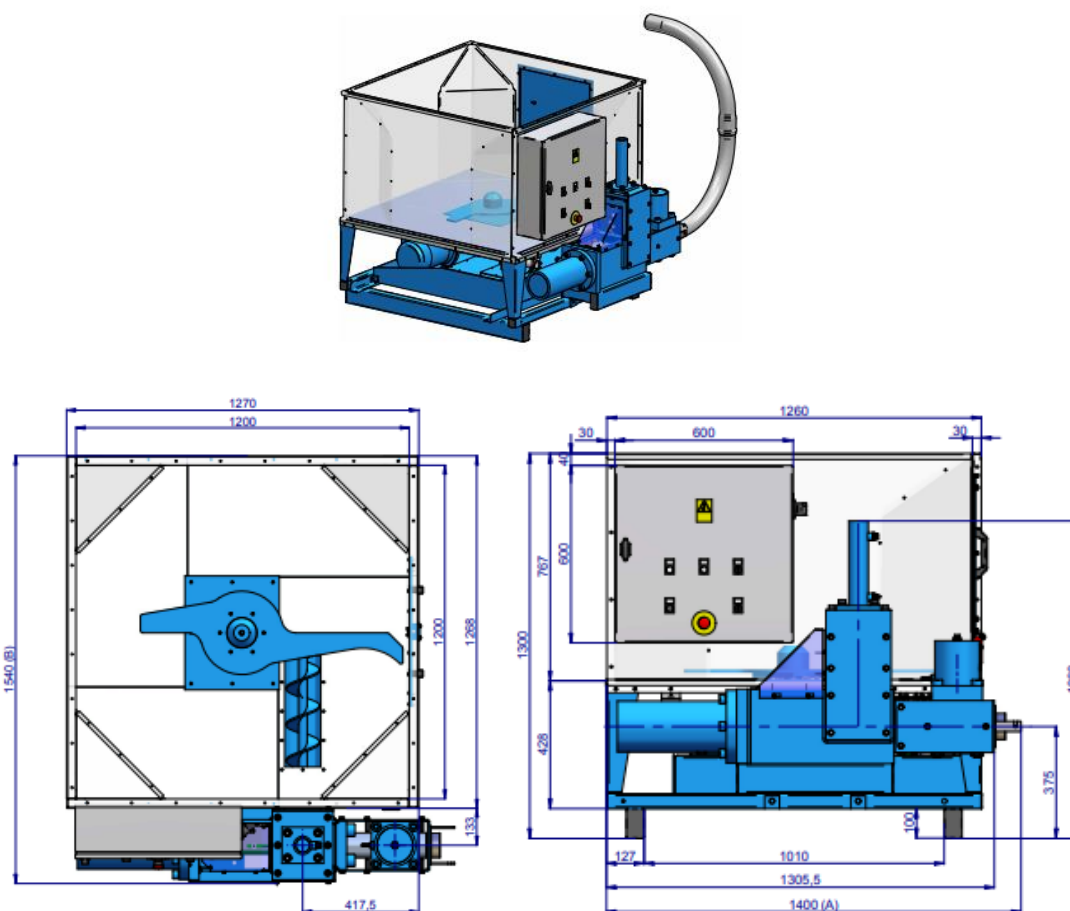
Postup měření a měřicí stroje

Briketovací lis

Technická fakulta disponuje briketovacím lisem BrikStar 30 - 12, který je schopen pojmout materiál o vlhkosti 8 - 15 % z hmotnosti. Výkonnost stroje je 20 až 40 kg za hodinu, měrná hmotnost vylisovaných briket je 900 až 1100 kg.m⁻³. Instalovaný elektrický příkon lisu je 4,4 kW a objem lisu násypka u typu 12 je 780 kg. Stroj je však náchylný na vyšší teplotu, ta dovoluje lisování jen v teplejších podmínkách, však nejhůře při +5 °C, rozmezí teplot, v kterém stroj může pracovat je 5 až 35 °C. (Briklis.cz, 2018)

Na tomto lisu byly vyhotoveny brikety o průměru 50 mm, na kterých dále bylo zkoušeno jaká síla je potřebná k rozrušení za účelem porovnání materiálů mezi sebou.

Obr. 2 Brikliis 30-12



Zdroj: <http://www.brikliis.cz/downloads/vykres/BrikStar-30-50-70-12R.pdf>

Měření mechanické odolnosti

Vyrobené brikety byly označeny, aby nedošlo k zaměnění a tím i nepřesnostem v měření. Parametry výšky a průměru briket byly změřeny posuvným měřítkem. Změřené brikety byly zváženy pro další potřeby výpočtů.

Provedli jsme zkoušku pro zjištění velikosti síly na porušení na univerzálním trhacím stroji se silovým rozsahem 5 t. Univerzální zkušební stroj má rozsah zatěžující síly 0 až 50 000N. Posuv stroje je $6 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. (Plíštil, 2005, s. 103)

Postup měření jsme začali položením brikety na bok na určenou plochu, pod píst stroje. Spustili jsme stroj a při prvním prasknutí, které bylo skrze celou strukturu brikety, jsme stroj zastavili. Pokud nedošlo jen k odlupu povrchu, nebo jinému povrchovému poškození, stroj jsme vypnuli a odečetli jsme hodnotu síly, která byla zapotřebí pro poškození.

Naměřené hodnoty byly zpracovány a vyhodnoceny v programu MS Excel. Z naměřených výsledků jsme nadále spočítali směrodatnou odchylku a měrnou hmotnost podle vzorců, které jsou uvedeny níže.

Průměrná hodnota

Průměr je počítán jako aritmetická průměrná hodnota dle vzorce (7) níže, dále využit při výpočtu směrodatné odchylky.

$$\bar{x} = \frac{1}{n(x_1 + x_2 \dots x_n)} \quad (7)$$

\bar{x} průměr

$x_{(i-n)}$ naměřené hodnoty

n počet naměřených hodnot

Směrodatná odchylka

Výpočet odchylky, dle vzorce (8), byl zrealizován pro zjištění velikosti odlišností v naměřených hodnotách, o kterých hovoří další kapitoly. Směrodatná odchylka je průměr druhých mocnin vzdáleností od průměru. Výpočet směrodatné odchylky jsme využili u naměřených hodnot hustoty a deformační síly.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

σ směrodatná odchylka

x_i soubor hodnot

\bar{x} průměrná hodnota

Objem

Vzorec (9) je pro výpočet objemu, který byl potřeba k dalším výpočtům jako již zmíněná měrná hmotnost.

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h \quad (9)$$

- d průměr brikety [m]
 h výška [m]

Měrná hmotnost/ hustota

Jedním ze základních popisných ukazatelů materiálu je měrná hmotnost, viz vzorec (10). Měrná hmotnost je formulována jako podíl hmotnosti a objemu tělesa.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (10)$$

- ρ hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
 m hmotnost [kg]
 V objem [m^3]

Vyhodnocení měření

V podkapitolách je šest materiálů, které byly použity k výrobě briket lisováním a následně k experimentu. Byla zkoumána velikost deformační síly na 65 vzorcích u každého z materiálů. Pro vyhodnocení měrné hmotnosti a deformační síly byly použity brikety o průměru 50 mm.

Smrk hobliny

Hobliny vznikají při hoblování dřeva odkud je i název. Smrkové dřevo se používá k výrobě trámů, krokve, nebo pro svou schopnost minimálního sesychání a houževnatosti i třeba k výrobě bednění. Proto tento odpad vznikající při obrábění dřeva je hojně k dostání. (Lesy ČR, 2018)

Pro první vzorek, hobliny smrku vyšla průměrná měrná hmotnost $1023 \pm 22 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a potřebná průměrná deformační síla $109 \pm 15 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$. Hodnota směrodatné odchylky pro měrnou hmotnost vyšla 22, což značí malý rozptyl hodnot. Z toho vyplývá, že použitý materiál byl menších částic a výsledné brikety byly kompaktní.

Briket 30 - 12 využívá vždy stejného tlaku a ne stejného množství materiálu, to zapříčiní rozdílnou délku briket. Tím je ztížena možnost porovnání hodnot briket, které jsme zjistili při zkouškách na univerzálním zkoušecím stroji. Proto hodnoty vyjadřují průměrnou hodnotu síly na 1 mm brikety.

Na obr. 3 je pro ilustraci k vidění vstupní materiál v násypce lisu a vlevo výsledek briketování – všech 65 vzorků k měření označené čísly před vážením, měřením a zkoušením na univerzálním zkušebním stroji tlakovou zkouškou na porušení.

Tab. 4 smrk hobliny, měrná hmotnost a deformační síla

hustota/měrná hmotnost [kg.m ⁻³]		deformační síla [N.mm ⁻¹]	
Průměr	směrodatná odchylka	průměr	směrodatná odchylka
1023	22	109	15

Obr. 3 vzorek smrk hobliny

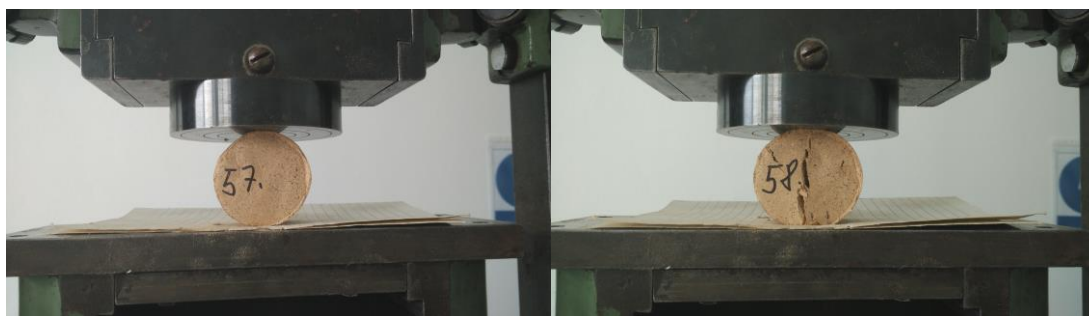


Modřín piliny

Piliny jsou malé dřevní kousky a vznikají jako vedlejší produkt při pilování nebo obrábění dřeva nejčastěji pilou, odkud vznikl i název. Piliny se dají použít rovnou nezpracované v pilinových kamnech nebo jako v našem případě zpracované do briket. Dřevo modřínu je polotvrdé a tvrdší než dřevo smrku. (Lesy ČR, 2018)

Níže na obr. 4 vlevo je neporušená briketa v okamžiku prvního dotyku pístu a vpravo briketa v okamžiku prasknutí celým průřezem brikety, kdy jsme zaznamenávali hodnotu síly.

Obr. 4 vzorek modřín piliny



V případě briket z pilin modřínu a mechanické odolnosti jsme vyhodnotili průměr a směrodatnou odchylku pro měrnou hmotnost a deformační sílu, které jsou zaznamenány v tab. 5. Hustota briket z modřínu je přibližně stejná jako hustota briket ze smrkových hoblin, ale potřebná síla je daleko menší. Přepočítaná deformační síla potřebná k porušení je $91 \pm 15 \text{ N.mm}^{-1}$.

U hoblin ze smrku je potřeba $109 \pm 15 \text{ N.mm}^{-1}$ a k porušení brikety z pilin modřínu jen $91 \pm 15 \text{ N.mm}^{-1}$. Tento jev byl pravděpodobně způsoben nižší vlhkostí materiálu, ale také drobnějšími částicemi materiálu použitým k briketování. Rozdíly mezi těmito dvěma materiály nejsou natolik zásadní jako v porovnání s papírem. Ze všech šesti zkoušených materiálu vyšla nejvyšší hodnota deformační síly na 1 mm brikety u papíru. Průměrná hodnota potřebná na porušení vyšla $270 \pm 53 \text{ N.mm}^{-1}$.

Tab. 5 modřín piliny, měrná hmotnost a deformační síla

hustota/měrná hmotnost [kg.m^{-3}]		deformační síla [N.mm^{-1}]	
Průměr	směrodatná odchylka	průměr	směrodatná odchylka
1002	35	91	15

Papír skart

Pro výrobu dalších vzorků briket byl použit obyčejný kancelářský křížový skart, jak je i poznat z obr. 5. Zde byly velké rozdíly v použité velikosti síly na deformaci, o čemž svědčí i vysoká hodnota směrodatné odchylky u síly viz tab. 6.

Obr. 5 vzorek papír skart



Papír skart je materiál s nejvyšší hodnotou síly potřebnou na porušení, hodnota deformační síly je $270 \pm 53 \text{ N.mm}^{-1}$.

Papír není sice nejpevnějším použitým materiálem sám o sobě, ale s použitím delších kusů kancelářského papíru jsme docílili při lisování pevnějších briket. Materiál byl daleko více provázaný uvnitř brikety a výsledná prasklina byla i velmi nepatrná a špatně rozpoznatelná v porovnání s ostatními. Proto je nutné uvažovat s větším rozptylem hodnot při měření. Směrodatná odchylka deformační síly v tab. 6 tomuto tvrzení odpovídá.

Tab. 6 papír skart, měrná hmotnost a deformační síla

hustota/měrná hmotnost [kg.m^{-3}]		deformační síla [N.mm^{-1}]	
Průměr	směrodatná odchylka	Průměr	směrodatná odchylka
1244	54	270	53

Miscanthus šrot

Miscanthus neboli Ozdobnice čínská, je travina z východní Asie. Jak již bylo zmíněno v teoretické části práce, Ozdobnice čínská je vytrvalá bylina a výnosy plodiny se pohybují kolem 20t/ha suché hmoty.

Na obr. 6 jsou k vidění hotové brikety připravené k měření na univerzálním zkušebním stroji a vlevo samotné zkoušení, kdy briketa je zachycena v okamžiku prasknutí. U tohoto materiálu bylo porušení znatelné díky své struktuře, proto také směrodatná odchylka u deformační síly nabývá nízkých hodnot, brikety bychom vyhodnotili jako velmi odolné.

Odvozujeme z vysoké hodnoty síly přepočítané na 1 mm plochy, $201 \pm 29 \text{ N.mm}^{-1}$, která je po papíru skart nejvyšší hodnotou.

Obr. 6 vzorek *Miscanthus* šrot



U tohoto materiálu došlo k nejvyšším výkyvům u hodnot měrné hmotnosti ze všech zkoušených materiálů, viz tab. 6. Směrodatná odchylka dosahuje vysoké hodnoty 138 kg.m^{-3} . Tento jev by se dal vysvětlit charakteristicky dlouhými kusy, které byly obtížné pro zpracování v briketovacím lisu.

Lis disponuje šnekem, který posouvá materiál z násypky do tlakové komory, kde dochází ke stlačení brikety do konečného tvaru. Dlouhé kusy materiálu pravděpodobně nebyly posouvány s takovou přesností a pravidelností jako materiály ostatní.

Tab. 7 *Miscanthus* šrot, měrná hmotnost a deformační síla

hustota/měrná hmotnost [kg.m^{-3}]		deformační síla [N.mm^{-1}]	
průměr	směrodatná odchylka	průměr	směrodatná odchylka
1069	138	201	29

Topol osika štěpka

Dalším materiálem byla dřevní štěpka z topolu osiky. Obecně štěpka je drcené dřevo na kusy o 3 až 250 milimetrech. Při lesní těžbě, průmyslovém zpracování dřeva nebo z rychle rostoucích dřevin vzniká odpad ve formě dřevní štěpky. Jde o velmi levnou surovinu pro použití k vytápění budov. Štěpka se může dělit na štěpku zelenou, bílou a hnědou, a to dle své kvality a dalších příměsí. Materiál bezprostředně po těžbě obsahuje 55 % vody a více. Výhřevnost je těžko určitelná, velice záleží na obsahu vody. Běžně se výhřevnost odhaduje

na 8 až 12 MJ/kg. Obecně dřevo topolu je dřevo lehké, měkké, řídké a nepříliš pevné. (Stupavský, Holý, 2010)

Obr. 7 vzorek topol osika štěpka



Na obr. 7 je vidět zkoušený vzorek na mechanickou pevnost v okamžiku deformace. Pro tento materiál byla deformace jednoduše viditelná a měření bylo velmi přesné, jak i vyplývá z hodnoty směrodatné odchylky deformační síly na 1 mm je jen 16 N.

Potřebná deformační síla byla v porovnání s ostatními materiály velmi malá, a to jen $64 \pm 16 \text{ N.mm}^{-1}$. Křehkost briket je dána výběrem dřeva osiky, které je měkké a velmi lehké. Vypovídá o tom taky nejnižší měrná hmotnost, která jako jediná z vybraných materiálů nepřesahuje 1000 kg.m^{-3} .

Tab. 8 topol osika štěpka, měrná hmotnost a deformační síla

hustota/měrná hmotnost [kg.m^{-3}]		deformační síla [N.mm^{-1}]	
průměr	směrodatná odchylka	Průměr	směrodatná odchylka
958	39	64	16

Čaj sypaný

Posledním materiálem byl sypaný čaj. Brikety sice měly podobnou měrnou hustotu jako brikety prvního vzorku ze smrku, ale potřebná průměrná deformační síla byla nepoměrně nižší. Pro čaj sypaný byla potřeba síla $70 \pm 12 \text{ N.mm}^{-1}$ a u smrku $109 \pm 15 \text{ N.mm}^{-1}$.

Obr. 8 vzorek čaj sypaný



Průměrná hodnota měrné hmotnosti je srovnatelná s briketami ze smrku a modřínu, ale hodnota potřebné síly na deformaci je nízká a spíše srovnatelná s měkkým materiálem osiky topolu. Průměrná hodnota na deformaci je $70 \pm 12 \text{ N.mm}^{-1}$, brikety jsou křehké a lom byl jednoduše viditelný viz obr. 8.

Tab. 9 čaj sypaný, měrná hmotnost a deformační síla

hustota/měrná hmotnost [kg.m^{-3}]		deformační síla [N.mm^{-1}]	
průměr	směrodatná odchylka	Průměr	směrodatná odchylka
1035	36	70	12

Souhrn materiálů

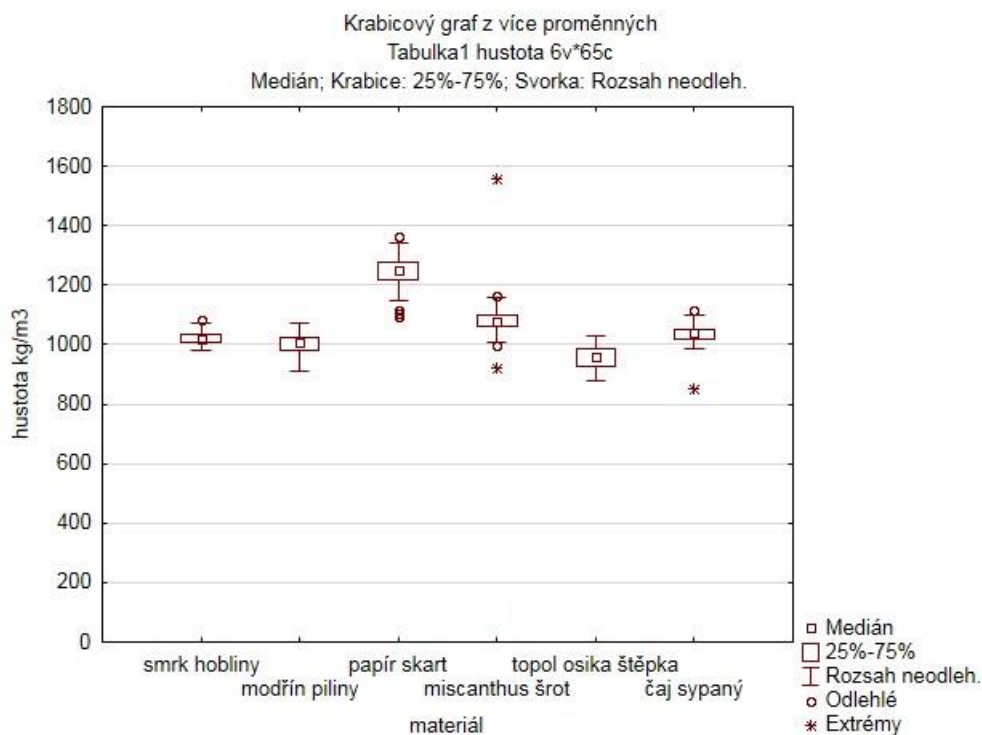
V níže uvedené tab. 10 je souhrn naměřených hodnot, vypočítaných průměrných hodnot a směrodatných odchylek pro všechny použité materiály.

Tab. 10 přehled materiálů, měrná hmotnost a deformační síla

Material	měrná hmotnost [kg.m^{-3}]		deformační síla [N.mm^{-1}]	
	průměr	směrodatná odchylka	Průměr	směrodatná odchylka
smrk hobliny	1023	22	109	15
modřín piliny	1002	35	91	15
papír skart	1244	54	270	53
Miscanthus šrot	1069	138	201	29
topol osika štěpka	958	39	64	16
čaj sypaný	1035	36	70	12

Z hodnot hustoty a defomační síly byly vytvořeny krabicové diagramy, které zobrazují data za pomoci kvartilů. Krabicové diagramy ukazují medián, odlehlé hodnoty a samotné krabice ukazují rozptyl hodnot.

Obr. 9 Krabicový graf hustota

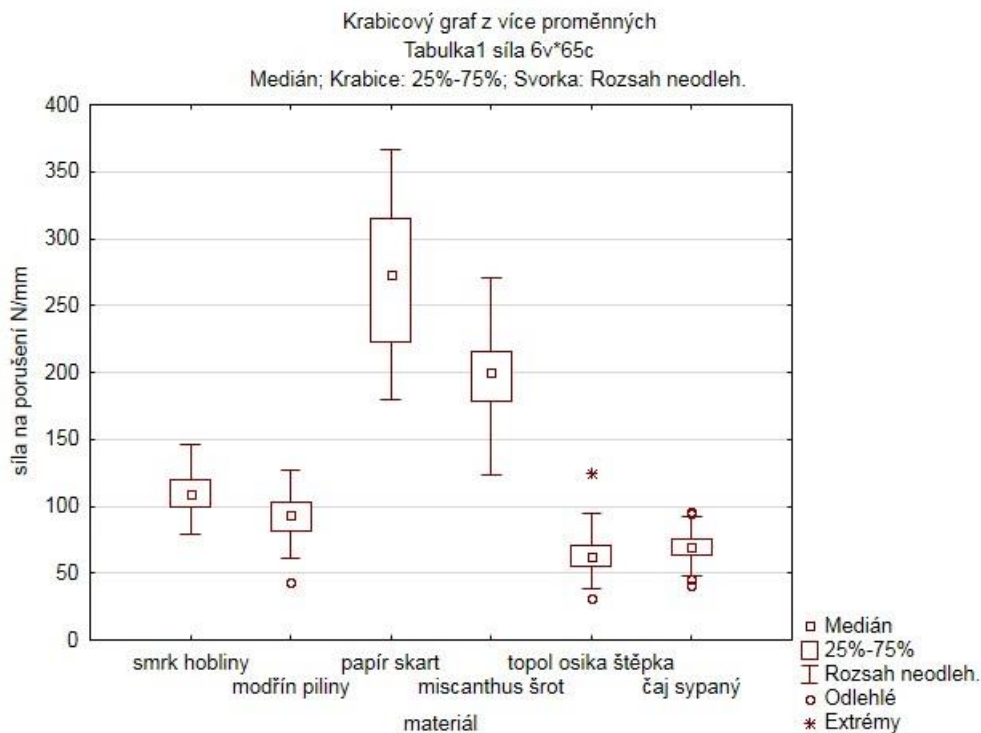


Linie kolmo nahoru a dolu jsou ukazatele variability dat, takzvaný rozsah neodlehlých hodnot. Ty vidíme nejmenší u smrku hoblin, to nám říká, že hustota byla velmi podobná ve všech 65 vzorcích, podobně tomu je u sypaného čaje, kde je vidět jedna extrémní hodnota. Tento extrém byl pravděpodobně způsobem malým množstvím materiálu ve stlačovací komoře lisu ve chvíli, kdy byla lisována, proto měrná hmotnost brikety je o tolik nižší než u zbývajících.

Nejvíce extrémních hodnot vykazuje materiál Miscanthus šrot, jedním z důvodů takových anomálií jsou velké kusy, které ve šrotovníku nebyly dostatečně rozšrotovány a dále při lisování tvořily v briketách větší a nepravidelné rozestupy mezi jednotlivými částmi materiálu.

Papír se ukazuje v diagramu jako materiál s velkým rozsahem neodlehlých hodnot, to jsou hodnoty, které nejsou v průměrných hodnotách 25 až 75 % a jsou značeny vertikálními liniemi. Důvodem velkého rozptylu mohou být nerovnoměrně nalisované brikety.

Obr. 10 Krabicový diagram - síla na porušení



Krabicový graf pro naměřené hodnoty síly ukazuje daleko větší rozpětí než je vidět na předchozím grafu u hustoty. Osa y vyjadřuje sílu na porušení přepočítanou na jeden milimetr délky brikety.

Největší rozdíl hodnot můžeme vidět u třetího materiálu. Papír se výrazně odlišuje od zbytku materiálu, z důvodu, že porušení bylo velmi špatně rozpoznat oproti ostatním materiálům. Ve středu brikety, kde vedla prasklina, nebyly všechny kusy materiálu porušeny a napovrchu nebyly praskliny vždy patrné. Někdy také došlo k porušení jen uvnitř a „přední strana“ brikety zůstala neporušena a odtrhla se od těla brikety. Při měření jsme si pomáhali i zvukem, kdy bylo rozpoznat typické puknutí brikety při prasklině skrze celý průměr.

U Miscanthu vidíme výrazně dlouhé linie neodlehých hodnot. Jak bylo již zmíněno u hustoty, Miscanthus obsahoval velké kusy materiálu a to nedokonalým našrotováním materiálu. Tím docházelo k vyšším místním pevnostem, materiál držel pospolu například díky jednomu velkému kusu procházejícímu celým průměrem brikety.

Jak vyplývá z diagramu, nejpřesnější výsledky byly zaznamenány u čaje. Je to tím, že sypaný čaj byl nejměkčím materiálem a měl výrazně nejmenší částice v porovnání s ostatními vzorky materiálů.

Z výsledků měření a diagramu vyplývá obecně, že bylo přesné. Objevuje se zde jen jedna extrémní hodnota u materiálu topol osika štěpka. Nejnižší naměřenou silou, extrémem vyčnívajícím v diagramu je $31 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$, avšak průměrná deformační síla u tohoto materiálu je $64 \pm 16 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

Vztah síly na dráze pístu

Dalším experimentem bylo lisování briket za pomoci Univerzálního zkušebního stroje ZDM50 a Laboratorního briketovacího lisu, který je patentem Technické fakulty.

Na stroji ZDM50 jsme zjistili závislosti síly na posunu pístu modelu lisu. Tímto způsobem jsme slisovali briketu. Univerzální zkušební stroj, ze kterého jsme dostali digitalizovaný záznam lisování, disponuje silovým rozsahem 5 t a rozsahem zatěžující síly 0 až 500 000 N. Použili jsme varianty modelu lisu o dvou průměrech, a to o průměru 40 a 65 mm. Dostali jsme závislosti síly na posuvu pístu pro tři materiály – modřín piliny, papír skart a sypaný čaj, které byly dále matematicky zpracovány v programu MathCad. Při zpracování dat v matematickém programu jsme zjistili, že výslednou křivku grafu je nejvhodnější proložit křivkou funkce tangens. (Úřad průmyslového vlastnictví, 2018)

Z tohoto grafu jsme vyvodili, jak velká je potřebná energie neboli práce pro vytvoření brikety. Program MathCad jsme dále použili pro dosazování a výpočtu konkrétních hodnot energie k vybraným hodnotám posunu pístu a hustoty.

Modřín piliny

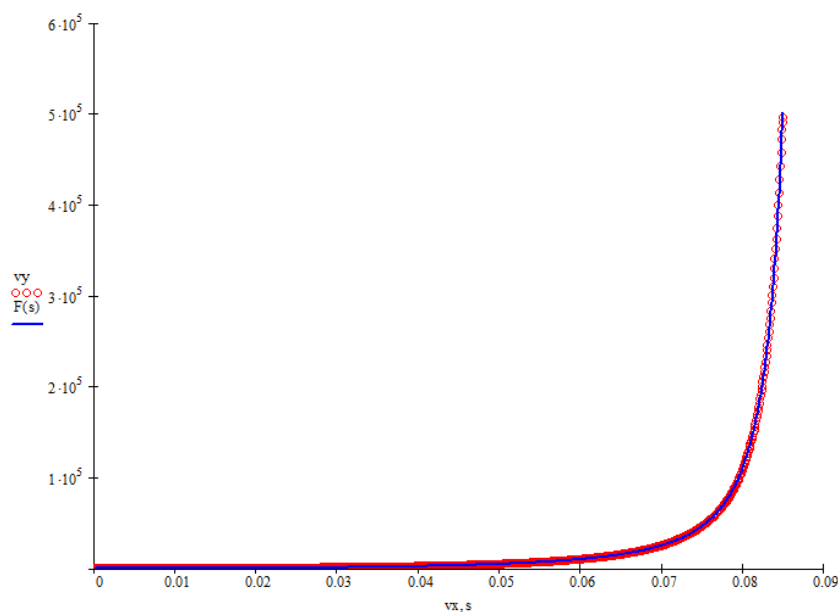
Na obr. 11 vidíme vztah síly F a dráhy posuvu pístu s pro vzorek z materiálu modřín piliny, pro brikety o průměru 40 mm.

Byla použita funkce pro nelineární regresi, ze které jsme dostali rovnici závislosti, koeficienty c jsou 3.415×10^3 , 17.659 a 1.912 po dosazení do obecné rovnice $F(x) = c_0 \tan(c_1 x)^{c_2}$ dostaneme následující rovnici:

$$F(x) = 3.415 \times 10^3 \tan(17.659 x)^{1.912}$$

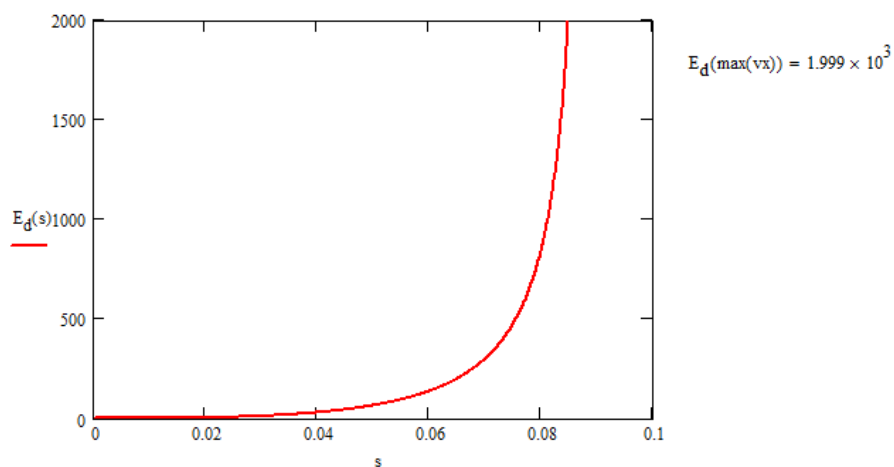
V grafu je vidět strmý vzestup síly při téměř neměnné dráze 0,08 m v momentu, kdy materiál nedovolil další stlačování. V tomto okamžiku se píst přestal posouvat, přestože síla pořád rostla.

Obr. 11 vzorek modřín piliny, briketa průměr 40 mm



Z předchozích výpočtů jsme pokračovali výpočty pro zjištění energie a její maximální dosažené hodnoty. Na obr. 12 vidíme vynaloženou energii E , neboli práci, v závislosti na dráze s , opět pro vzorek průměru 40 mm. Maximální hodnota energie byla 1.999×10^3 J jak je vidět i v grafu na obr. 12. Index determinance se velmi blížil hodnotě jedna, přesnost hodnot měření bylo 0,9999, tak tomu je i pro všechny následující vzorky a měření.

Obr. 12 vzorek modřín piliny, briketa průměr 40 mm

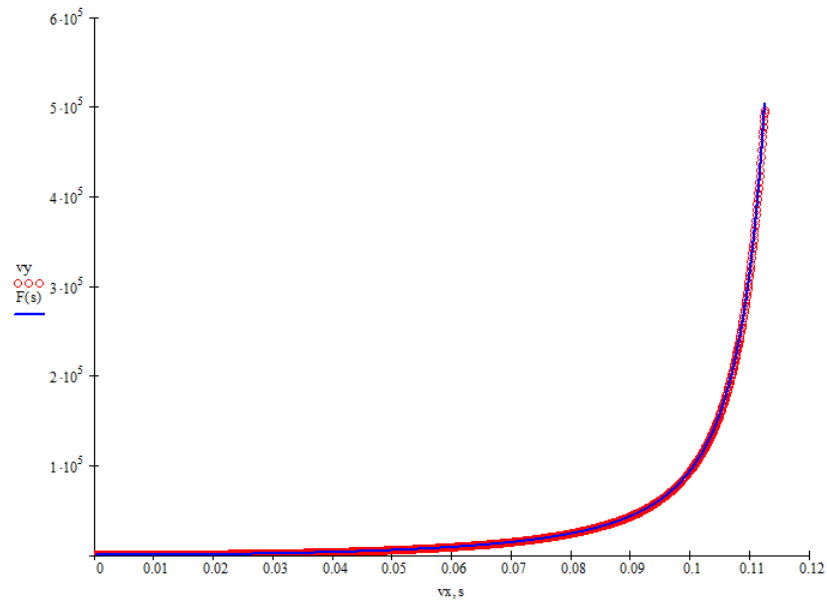


Pro vzorek o průměru 65 mm stejného materiálu vycházejí koeficienty 9.176×10^3 , 12.957 a 1.847. Po dosazení koeficientů c do obecné rovnice dostáváme následující tvar:

$$F(x) = 9.176 \times 10^3 \tan(12.957 x)^{1.847}$$

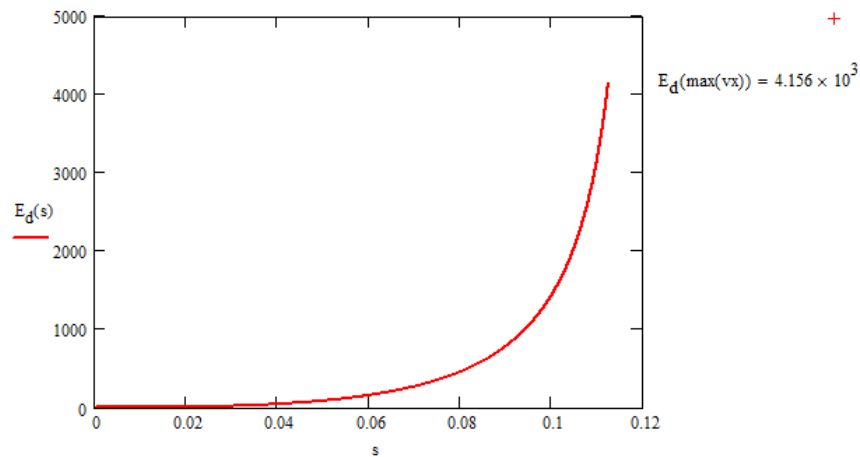
Pro tento vzorek vychází křivka grafu, která je vidět na obr. 13. Na rozdíl od vzorku 40 mm není křivka tak strmého tvaru. Křivka se pozvolna zvedá od hodnoty 0,06 a strmého až kolmého tvaru nabývá u hodnoty 0,1 m.

Obr. 13 vzorek modřín piliny, briketa průměr 65 mm



Energie při deformaci dosahuje své maximální hodnoty $4,156 \times 10^3$, průběh energie závislé na dráze vyčteme z obr. 14.

Obr. 14 vzorek modřín piliny, 65 mm průměr

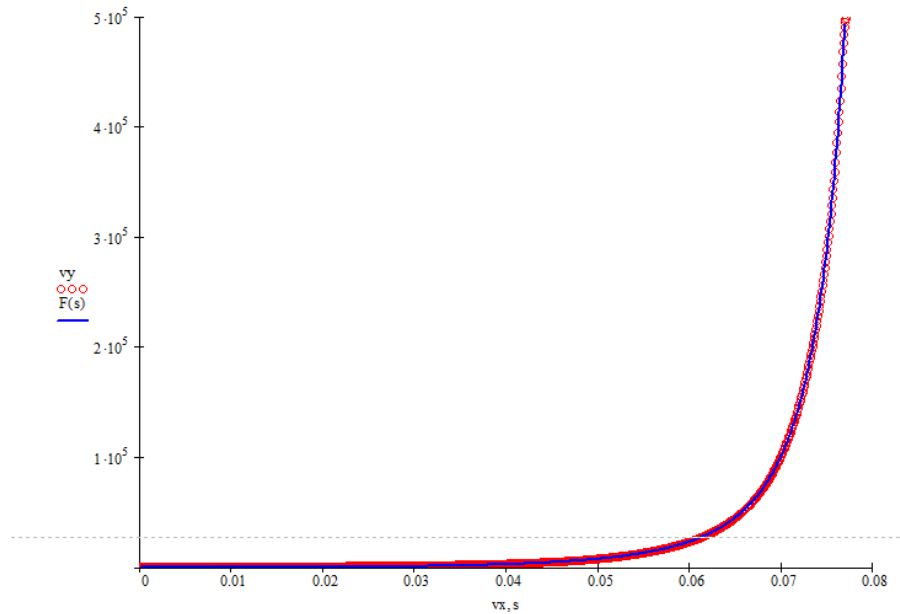


Papír

Výsledné koeficienty c pro sestavení grafu jsou 3.854×10^3 , 18.205 a 2.772 a po dosazení do obecné rovnice dostáváme tvar v následujícím znění:

$$F(x) = 3.854 \times 10^3 \tan(18.205 x)^{2.772}$$

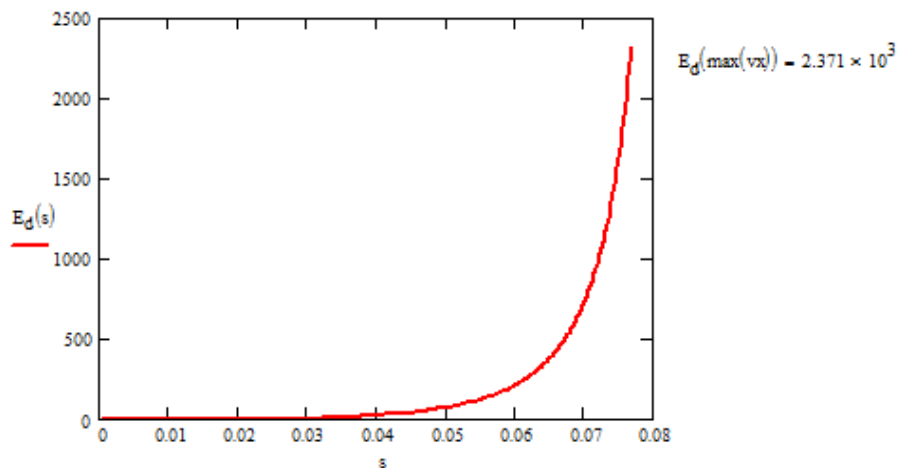
Obr. 15 papír skart, briketa průměr 40 mm



Křivka stejně jako u předchozího vzorku modřínu piliny o průměru 40 mm nabývá rychle strmého tvaru. V porovnání se stejným průměrem předchozího vzorku modřínu je křivka pozvolnější, ale téměř kolmý tvar má již na hodnotě 0,07 m.

Energie pro vzorek papír skart o průměru 40 mm nabývá své maximální hodnoty číslem $2,371 \times 10^3$ J.

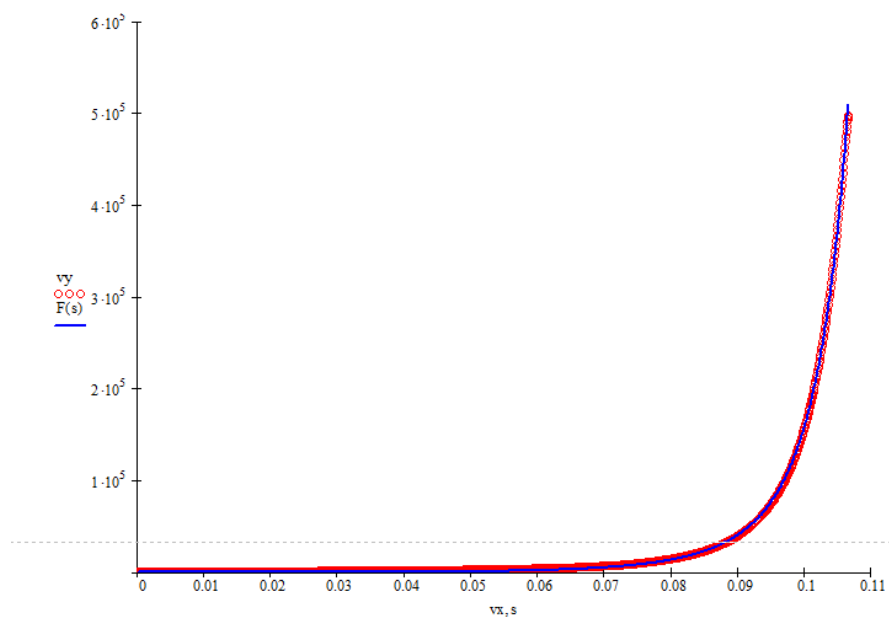
Obr. 16 papír skart, briketa průměr 40 mm



Pro materiál papír skart o průměru briket 65 mm jsou koeficienty c následující 2.599×10^3 , 12.557 a 3.689. Po dosazení dostáváme rovnici v následujícím tvaru:

$$F(x) = 2.599 \times 10^3 \tan(12.557 x)^{3.689}$$

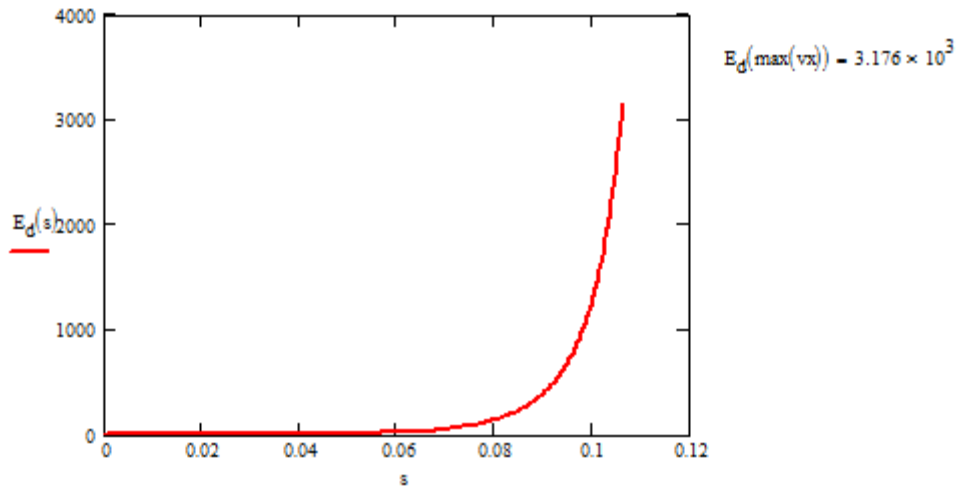
Obr. 17 papír skart, briketa průměr 65 mm



Na obr. 17 je vidět průběh síly na dráze, kterou urazil píst při lisování brikety z papíru. Síla je opět strmá v okamžiku přesáhnutí hodnoty dráhy 0,08 m. Průběh síly při výrobě brikety je strmější než u menšího vzorku (40 mm) téhož materiálu.

Pro vzorek papíru o průměru 65 mm vidíme vynaloženou práci na výrobu brikety na obr. 18. Maximální hodnota energie pro tento vzorek vychází 3.175×10^3 J.

Obr. 18 papír skart, briketa průměr 65 mm

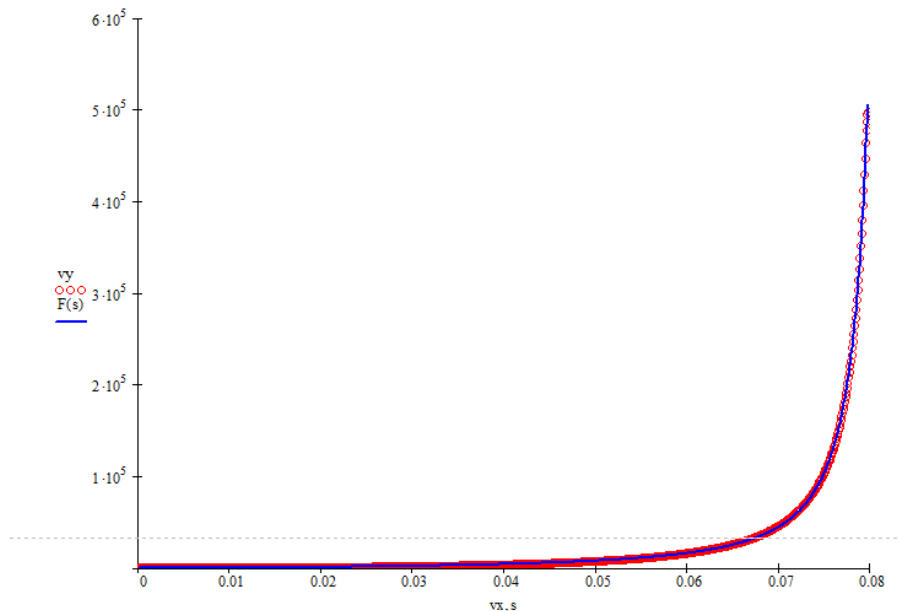


Čaj sypaný

Třetí a poslední materiál experimentu byl čaj sypaný. Koeficienty c vyšly v programu následující: 4.553×10^3 , 19.035 a 1.629. Po dosazení koeficientů do obecného znění rovnice dostaneme rovnici proložení ve tvaru:

$$F(x) = 4.553 \times 10^3 \tan(19.035 x)^{1.629}$$

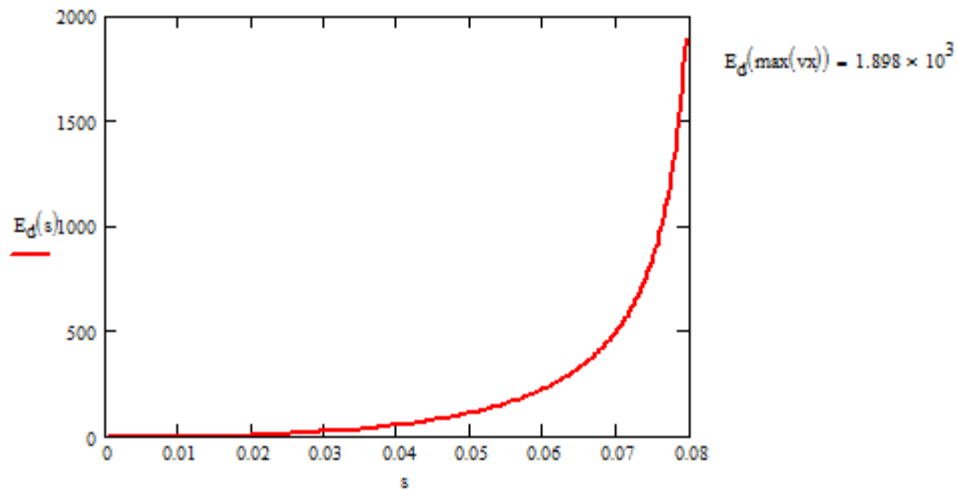
Obr. 19 čaj sypaný, brikety průměr 40 mm



Obdobně vyšla křivka velmi strmá u menší 40 mm verze vzorku. Křivka je velmi podobná vzorku z papíru skart. Síla se začíná strmě zvedat u hodnoty 0,07 m.

V druhém navazujícím výpočtu pro energii vyšla maximální hodnota 1.898×10^3 J. Ze všech tří vzorků o průměru 40 mm je tato hodnota nejnižší. Nejvyšší možná energie byla použita u papíru skart a to v hodnotě 2.371×10^3 J.

Obr. 20 čaj sypaný, briketa průměr 40 mm

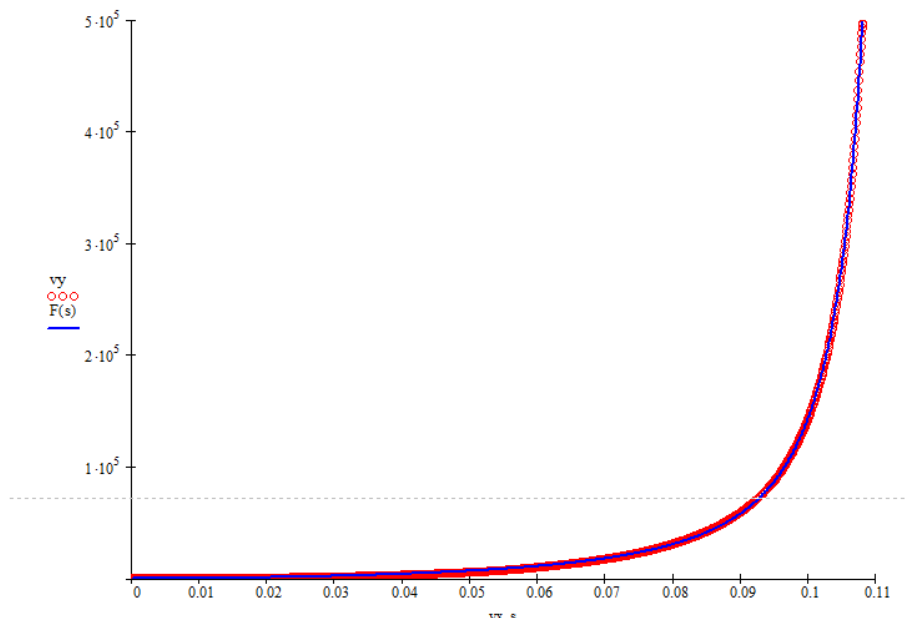


Posledním je výpočet pro čaj sypaný o průměru 65 mm. V programu MathCad vyšly koeficienty c 10130, 13.566 a 1.749. Po dosazení do obecné rovnice jsme dostali následující tvar rovnice na proložení:

$$F(x) = 10130 \tan (13.566 x)^{1.749}$$

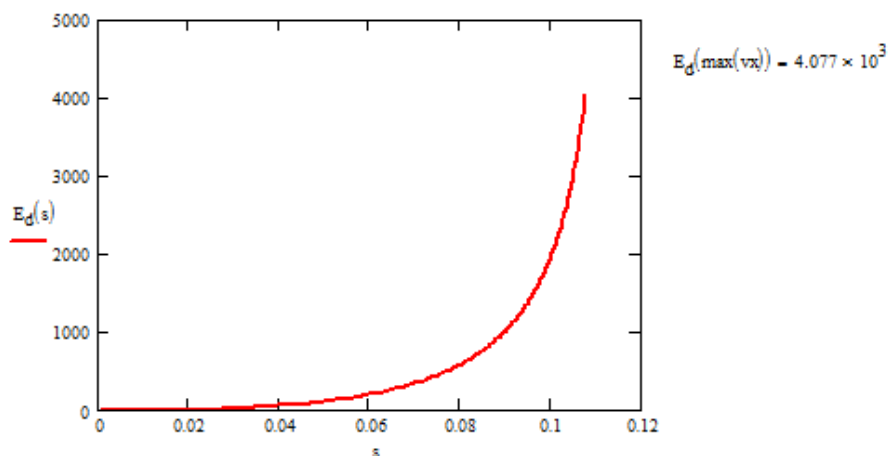
Z grafu na obr. 21 vidíme, že má pomalý náběh křivky. Začíná se zvedat u 0,05 m a kolmou ose x se stává až u hodnoty 0,1 m. U všech materiálů byl průběh křivky pozvolnější u menších průměrů 40 mm.

Obr. 21 čaj sypaný, briketa průměr 65 mm



U vzorku čaje vyšla maximální hodnota energie větší než tomu bylo u stejného průměru vzorku papíru skart. Hodnota maximální energie pro papír skart je 3.176×10^3 a u tohoto vzorku čaje sypaného 4.077×10^3 .

Obr. 22 čaj sypaný, briketa průměr 65 mm



Rozdíly mezi vzorkem 40 mm a 65 mm u čaje sypaného jsou veliké. Pro průměr 40 mm maximální hodnota energie dosahuje hodnoty 1.898×10^3 J a průměr 65 mm hodnoty

4.077×10^3 J. Průběh energie u papíru skart je strmějšího charakteru než je tomu u čaje sypaného. Energie u papíru začíná nabírat hodnot až od dráhy 0,08 m, kdy u čaje to je pozvolné od hodnoty 0,04 m.

6 Zhodnocení výsledků

Z průběhu síly v závislosti na dráze byla vypočítána ekvivalentní hodnota hustoty. Cílem bylo zjistit jakou energii se ekonomicky vyplatí nebo nevyplatí použít pro zvyšování hustoty.

Vybrali jsme hodnoty podle hustoty, a to 800 kg.m^{-3} a vyšší pro reálnost posouzení. Stroj ZDM50 zaznamenává průběh od nízkých hodnot síly F v závislosti na dráze pístu s , pro které byla dopočítaná hustota. Dopočítané hodnoty hustoty jsou pro začátek zaznamenávání průběhu pohybu velmi nízké a tedy nereálné.

Do roku 2010 v České republice platila technická směrnice č.14 – 2009 vydána Ministerstvem životního prostředí, která stanovila parametry briket pro získání ochranné známky *Ekologicky šetrný výrobek*. Jeden z požadavků byla minimální hustota brikety 900 kg.m^{-3} . Tato směrnice nebyla na našem území novelizována, její ekvivalent tak v současnosti neexistuje. Nynější evropské technické normy rozdělují brikety do šesti skupin hustot. ČSN EN 14096-1 specifikuje kategorie hustot od hodnoty 800 kg.m^{-3} , jak je vidět v tab. 11. (Resort životního prostředí, 2006) (ČSN EN 14096-1, 2003)

Tab.11 třídy hustoty

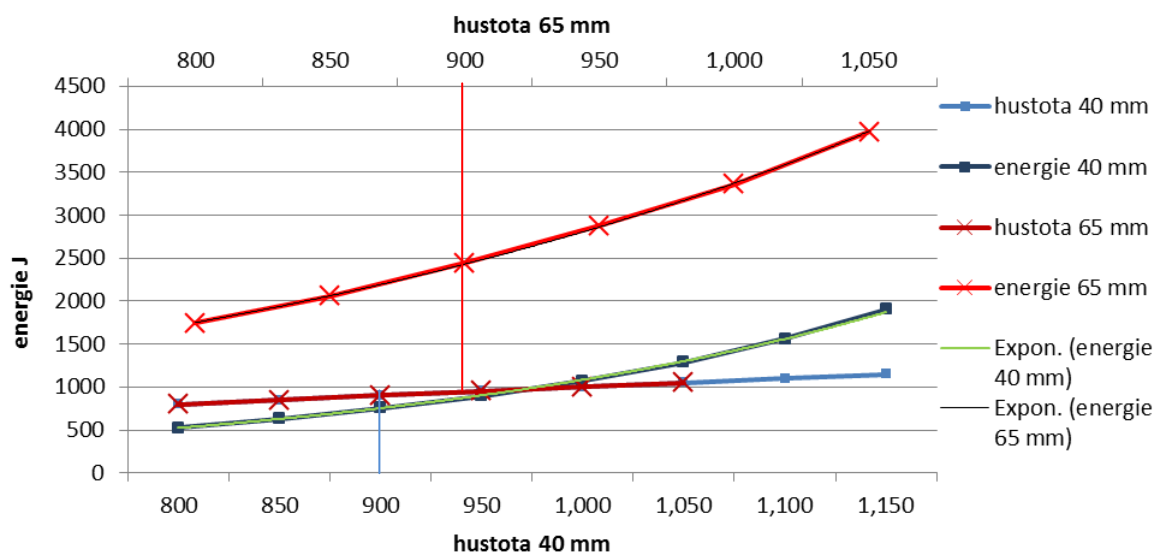
Označení	kg.m^{-3}
DE0,8	≥ 800
DE0,9	≥ 900
DE1,0	≥ 1000
DE1,1	≥ 1100
DE1,2	≥ 1200
DE1,2+	> 1200

Zdroj: ČSN EN 14096-1

Z průběhu síly závislé na dráze o vyšší hustotě jak 800 kg.m^{-3} jsme vzali 6 - 16 hodnot, které jsme následně dosadili do programu MathCad a z rovnice vyhodnotili konkrétní

hodnoty vynaložené energie pro jednotlivé úseky dráhy. Tyto hodnoty jsme dále zpracovali do tabulky a pro názornost dosadili do tří grafů, které jsou vidět níže. Z grafů by mělo být viditelné, jaký je vztah hustoty stlačujícího se materiálu k hodnotě vynaložené energie na výrobu brikety. V jednom grafu jsou vždy uvedeny oba rozměry briket – 40 a 65 mm.

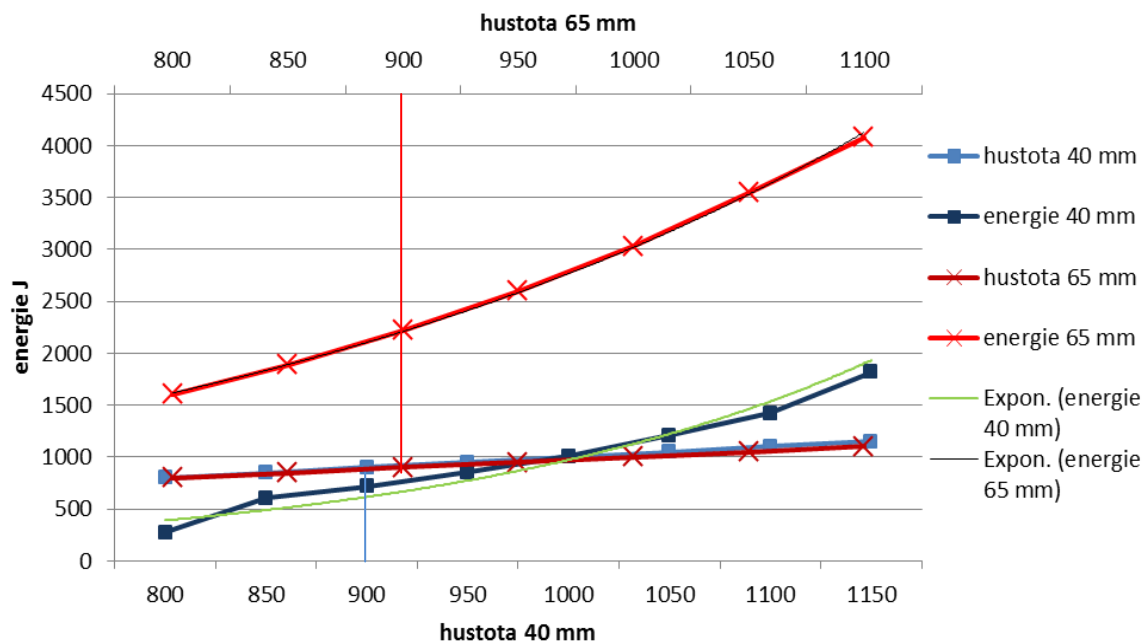
Obr. 23 zhodnocení, modřín piliny 40 a 65 mm



Na prvním grafu na obr. 23 je opět vzorek modřínu piliny, modrou barvou je označen průměr 40 mm a červenou průměr 65 mm. Hustota je zde zaznamenána od přibližné hodnoty 800 kg.m³. Zároveň jsou zde vyznačeny vodorovnými čarami hodnoty pro hustotu 900 kg.m³, tak jak to v minulosti vyžadovala směrnice č.14 – 2009 pro získání známky *Ekologický šetrný výrobek*. (Resort životního prostředí, 2006)

U vzorku o 65 mm vidíme daleko menší závislost vynaložené síly na hustotě. Z ekonomického hlediska bychom pro tento vzorek neuvažovali o zvyšování hustoty nad 800 kg.m³. Zato u druhého vzorku o 40 mm bychom mohli uvažovat o zhutnění brikety až na hodnotu 1000 kg.m⁻³ a zařazení do kategorie DE1,0 dle normy ČSN 14096-1. Při zvyšování hustoty nad tuto hodnotu vidíme jen malou změnu hustoty oproti velkému nárůstu hodnoty energie. Tím bychom splňovali i výše zmíněnou českou normu. (ČSN EN 14096-1, 2003)

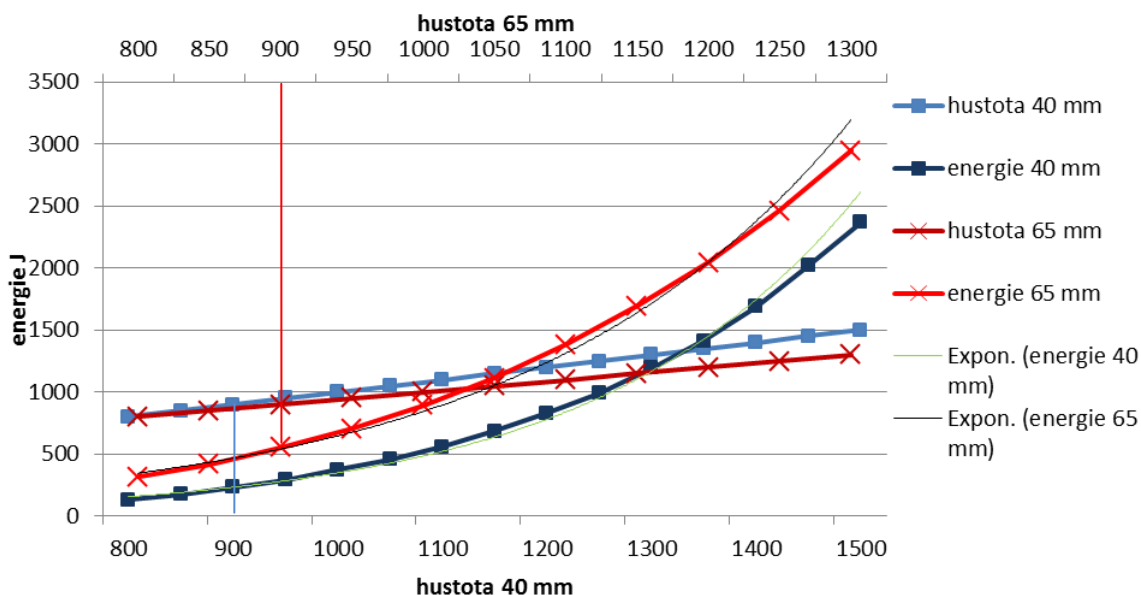
Obr. 24 zhodnocení, čaj sypaný 40 a 65 mm



U vzorku sypaného čaje je situace obdobná, červené křivky vzorku o průměru 65 mm mají daleko menší závislost energie na zvyšující se hustotě. Pro tento vzorek bychom z ekonomického hlediska taky neuvažovali o možnosti zvyšování hustoty. Energie dosahující maximální hodnoty 4076 J nám zvýší hustotu pouze z původních 800 kg.m⁻³ na necelých 1100 kg.m⁻³.

U druhého rozměru zaznamenaných modrými křivkami ve stejném grafu na obr. 24 je vidět vyšší závislost. Pro vzorek o průměru 40 mm bychom mohli uvažovat o zhutnění na hodnotu až 1000 kg.m⁻³. Tím bychom briketu zařadili do třetí kategorie normy označené DE1,0. V porovnání s ostatními křivkami materiálů je tato nejméně pravidelná, jak můžeme vidět díky proložení exponenciální spojnicí trendu.

Obr. 25 zhodnocení papír skart 40 mm



Pro třetí a poslední materiál v této kapitole je graf vidět na obr. 25. Pro vzorek o průměru 65 mm bychom mohli uvažovat o zvýšení hustoty nad hodnotu 1100 kg.m⁻³. Podle normy ČSN EN 14096-1 bychom dosáhli čtvrté skupiny DE1,1. Pro další zvyšování hustoty bychom zbytečně spotřebovali energii již s minimálními výsledky.

Pro menší rozměr briket by z ekonomického hlediska stálo za zvážení zhutňovat a lisovat brikety o hustotě až na 1300 kg.m⁻³. Nejdále za hranicí 900 kg.m⁻³ byl právě tento materiál. Nejvyšší kategorii hustoty DE1,2+ dle platné normy bychom z ekonomického hlediska dosáhli jen s tímto materiálem. (ČSN EN 14096-1, 2003) (Resort životního prostředí, 2006)

Ekonomické hodnocení

V této kapitole je ukázáno ekonomické hledisko zpracování dřevního odpadu z výroby a zpracování dřeva. Je tedy používán dřevní odpad, surovina s nulovým nákladem. Pokud materiál nevyužije pro výrobu briket, provoz dřevní výroby by tento materiál likvidoval, z čehož plyne náklad.

Podnik funguje a zpracovává dřevo pět dní v týdnu osm hodin. Briklis 30 - 12 zpracuje 20 – 40 kg.hod⁻¹. Pokud budeme počítat, že 1 m³ truhlářského odpadu má hmotnost 100 kg a průměrná výkonnost lisu je 30 kg briket za hodinu, vyrobíme 240 kg briket za den. Jsme schopni zpracovat 2,4 m³ dřevního odpadu za den, abychom nemuseli nic skladovat nebo likvidovat.

Nákupní cena rok starého lisu je 280 000 Kč. V tomto případě budeme schopni vyprodukovat 240 kg briket z jedno denního odpadu. Jsme limitováni parametry výkonnosti lisu, proto když budeme počítat s průměrnou výkonností 30 kg briket za hodinu, budeme téměř na osmi hodinách práce. Momentálně se ceny dřevních briket pohybují kolem 53 až 57 Kč za 10 kg.

Investice je briketovací lis s pořizovací cenou 280 000 Kč. S rovnoměrnými účetními odpisy po dobu sedmi let se dostaneme na částku 40 000 Kč.

Náklady

Náklady na *zaměstnance*, který bude obstarávat přesuny materiálu a provoz briketovacího lisu jsou v podobě měsíční mzdy 12 500 Kč a odvody sociálního a zdravotního pojištění za zaměstnavatele. Sazba sociálního pojištění za zaměstnavatele je 25 % a zdravotní pojištění 9 % z hrubé mzdy zaměstnance. Za mzdu zaměstnance ročně vzniká náklad 150 000 Kč a za odvody na pojištění 51 000 Kč, celkově se tak jedná o náklady ve výši 201 000 Kč.

Energie v roce 2017 byla průměrně účtována za částku 3,79 Kč za kWh. Briklis 30 - 12 má příkon 4,4 kW. V roce 2018 je 250 pracovních dní, při osmi hodinové pracovní době od pondělí do pátku to znamená 2000 hodin. Pokud nebudeme počítat svátky a víkendy bude spotřeba stroje 8 800 kWh. Náklad na roční provoz stroje je 33 352 Kč.

Režijní náklady není potřeba zahrnovat. Prostor, který briketovací lis potřebuje by byl použit pro materiál čekající na odvoz k likvidaci. Samotný lis potřebuje plochu

1540 x 1270 mm, což je zanedbatelnou plochou v provozu, ikdyž bereme v potaz příslušenství a prostor pro manipulaci s materiálem a prostor pro obsluhu lisu.

Opravy a údržba jsou dle výrobce následující: výměna vložky vzduchového (1413 Kč) a olejového filtru (1538 Kč) po 500 provozních hodinách, po roce dochází k výměně oleje v hydraulickém agreátu (5606 Kč), po třech letech je nutná kontrola a možná následná výměna elektrosvíčky, pojistek, jističů, stykačů a hydraulických hadic. (Briklis.cz, 2018) Reálné náklady na opravy se mohou lišit a nelze je přesně vykalkulovat, ale pro tento případ budeme počítat s 15 000 Kč na rok.

Výnosy –při výrobě 60 000 kg briket za rok a při ceně 57 Kč za 10 kg briket budou výnosy 342 000 Kč.

Tab. 12 přehled nákladů

Typ nákladu	Ročně
Odpisy	40 000 Kč
Mzda zaměstnance	201 000 Kč
Energie	33 352 Kč
Údržba	15 000 Kč
Celkem	289 352 Kč

Tab. 13 Výnosy

Výnosy	Ročně
Utrženo z prodeje	342 000 Kč
Hrubý zisk	52 648 Kč
Čistý zisk	42 644 Kč

V tab. 13 můžeme vidět čistý zisk 42 644 Kč ročně. Pokud lisování briket bude vedlejší činnost a ušetříme náklady na likvidaci jinak vzniklého odpadu, mohli bychom uvažovat o zrealizování tohoto modelu. Likvidace čistého dřevního odpadu je přibližně 600 Kč za tunu. V tomto případě bychom zaplatili za likvidaci 36 000 Kč jen za odvoz a likvidaci odpadu. Dalším prostorem pro vyšší zisk je využít plně kapacitu lisu a lisovat 40 kg briket za hodinu, pro tento příklad jsme použili průměrnou hodnotu výkonnosti lisu 30 kg.hod⁻¹.

Dalším potenciálem pro vyšší zisky by byl lis s vyšším výkonem, než byl použit pro účely této diplomové práce.

7 Závěr

Snahou dnešní doby je zvyšování využití obnovitelných zdrojů energie a briketování je jednou z možností této snahy docílit. Využití nových i stávajících druhů rostlinné biomasy v podobě briket je jednou z možností. Brikety představují možnost ekologicky i ekonomicky výhodného řešení. Ekonomickými výhodami jsou lepší skladovatelnost, jednodušší doprava, lepší manipulace s palivem, vyšší hodnoty výhřevnosti, normalizace vlastností paliva a hlavní výhodou je využití i materiálu jinak zacházeného jako odpad k likvidaci.

Cílem teoretické části bylo seznámit se se základními pojmy problematiky briketování, legislativou ovlivňující výrobu, odběry vzorků i emisní charakteristiky. Dalším cílem bylo vytvořit přehled typů lisů, které jsou na trhu k dostání a materiálů používaných v našich podmínkách.

V rámci experimentů v praktické části byly porovnány materiály klasické i méně klasické. Byla porovnána mechanická odolnost a pro sílu a hustotu byla vyhodnocena směrodatná odchylka, ta je důležitá z hlediska normalizace paliva.

Na základě vlastního šetření bylo zjištěno, že mechanicky nejodolnějším materiálem je papír skart, naopak nejnižších hodnot dosahoval čaj sypaný ale překvapením byl malý rozdíl oproti materiálu topol osika štěpka. Nejvyšší zjištěná měrná hmotnost byla u papíru skart a nejnižší a jedinou nedosahující hranice 1000 kg.m^{-3} byla u topolu osika štěpka. Ostatní materiály v tomto ohledu byly srovnatelné.

Matematické výhodnocení u druhého experimentu proběhlo v programu MathCad s cílem zjištění závislosti síly na dráze pístu při lisování briket. Z toho jsme zjistili energii spotřebovanou na výrobu brikety a změny hustoty materiálu na spotřebovanou energii.

Zjistili jsme, že u materiálu modřín piliny a čaj sypaný o průměru brikety 65 mm se nevyplatí zvyšovat hustotu nad původních 800 kg.m^{-3} . Pro menší rozměr 40 mm bychom mohli z ekonomického hlediska uvažovat o zvýšení hustoty brikety na 1000 kg.m^{-3} a zařadit brikety do třídy DE1,0 dle normy ČSN EN 14096-1. Odlišných výsledků jsme dosáhli u třetího materiálu papír skart. Z ekonomického hlediska bychom zvýšili hustotu

na $1100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ u menšího rozměru briket a u rozměru 65 mm bychom doporučili zařazení do nejvyšší kategorie DE1,2+ dle normy ČSN EN 14096-1. (ČSN EN 14096-1, 2003)

Na závěr bylo navrženo ekonomické řešení pro zpracování dřevního odpadu v dřevozpracovatelském průmyslu. Byl zvolen briketovací lis stejného typu jakým disponuje Technická fakulta a vykalkulováno jakých zisků a nákladů by dosahoval při 8 hodinových směnách za období jednoho roku. Pro provozovatele by to byla zisková činnost a při zvětšování provozu by stál za zvážení lis s vyšší výkonností. Kdybychom zvažovali nákup briketovacího lisu pro konkrétní podnik, mohli bychom využít jednoho z dotačních programů a snížit tím náklady nebo získat jiné výhody.

8 Seznam použitých zdrojů

1. BROŽEK, Milan. The effect of moisture of the raw material on the properties briquettes for energy use. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2016, 64(5), 1453-1458..
2. CHEN, Longjian, Li XING a Lujia HAN. Renewable energy from agro-residues in China: Solid biofuels and biomass briquetting technology. *Elsevier*. 2009, 2689–2695.
3. HAVRLAND, Bohumil a V. M. POBEDINSKIJ. *Biomass processing to biofuel: monograph*. Praha: Powerprint, 2011. ISBN 978-80-87415-20-7.
4. PLÍŠTIL, David. *Briketování a pakětování: [disertační práce]*. 2005.
5. KOLÁŘOVÁ, Marcela. *Vlastnosti pelet a briket pro energetické využití: disertační práce*. Praha, 2011.
6. PETŘÍKOVÁ, Vlasta a Jan WEGER. *Pěstování rostlin pro energetické a technické využití: biomasa, bioplyn, krmiva*. Praha: Profi Press, 2015. ISBN 978-80-86726-69-4.
7. *Technologie pro spalování biomasy: 1. Mezinárodní veletrh zemědělství, chovatelství a potravinářství PRAGAAGRO 99, Praha-Letňany, 26. dubna 1999 : sborník přednášek z konference*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 1999. ISBN 80-213-0506-1.
8. PŘÍHODA, Jan. *Racionální využívání lesní biomasy pro energetické účely: sborník referátů : 11. říjen 2007, Kostelec nad Černými lesy*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1691-1.

9. PETŘÍKOVÁ, Vlasta. *Energetické plodiny*. Praha: Profi Press, 2006. ISBN 80-86726-13-4.
10. MALAŤÁK, Jan a Petr VACULÍK. *Biomasa pro výrobu energie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.
11. LEE, Sunggyu a Yatish T. SHAH. *Biofuels and bioenergy: processes and technologies*. Boca Raton: CRC Press, 2013. Green chemistry and chemical engineering. ISBN 978-1-4200-8955-4.
12. ČSN EN ISO 16559. *Tuhá biopaliva - Terminologie, definice a popis (Solid biofuels - Terminology, definitions and descriptions)* Praha: Český normalizační institut, 2015.
13. ČSN EN ISO 17225-1. *Tuhá biopaliva - Specifikace a třídy paliv – Část 1: Obecné požadavky (Solid biofuels - Fuel specifications and classes. General requirements)*. Praha: Český normalizační institut, 2014.
14. ČSN EN 15234-1. *Tuhá biopaliva - Prokazování kvality paliv – Část 1: Obecné požadavky (Solid biofuels. Fuel quality assurance. General requirements)*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
15. ČSN EN ISO 16993. *Tuhá biopaliva – Přepočítání výsledků analýz pro různé stavy biopaliv (Solid biofuels - Conversion of analytical results from one basis to another)*. Praha: Český normalizační institut, 2016.
16. ČSN EN 14961-1. *Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv – Část 1: Obecné požadavky (Solid biofuels. Fuel specifications and classes. General requirements)*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

17. ČSN EN 15210-2. *Tuhá biopaliva – Stanovení mechanické odolnosti pelet a briket – Část 2: Brikety (Solid biofuels - Determination of mechanical durability of pellets and briquettes. Briquettes)*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
18. ČSN 18135. *Tuhá paliva – Vzorkování (Solid Biofuels. Sampling)*. Praha: Český normalizační institut, 2017.
19. ČSN EN ISO 17828. *Tuhá biopaliva – Stanovení sypné hmotnosti (Solid biofuels - Determination of bulk density)*. Praha: Český normalizační institut, 2016.
20. ČSN EN ISO 17831-2. *Tuhá paliva – Stanovení mechanické odolnosti pelet a briket – Část 2: Brikety (Solid biofuels - Determination of mechanical durability of pellets and briquettes - Part 2: Briquettes)*. Praha: Český normalizační institut, 2016.
21. ČSN EN 303-5. *Kotle pro ústřední vytápění - Část 5: Kotle pro ústřední vytápění na pevná paliva, s ruční a samočinnou dodávkou, o jmenovitém tepelném výkonu nejvýše 500 kW - Terminologie, požadavky, zkoušení a značení (Heating boilers - Part 5: Heating boilers for solid fuels, manually and automatically stoked, nominal heat output of up to 500 kW - Terminology, requirements, testing and marking)*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
22. ČSN EN 14096-1. *Nedestruktivní zkoušení - Kvalifikace systémů pro digitalizaci radiogramu - Část 1: Definice, kvantitativní měření parametrů jakosti obrazu, standardní referenční film a sledování jakosti (Non-destructive testing - Qualification of radiographic film digitisation systems - Part 1: Definitions, quantitative measurements of image quality parameters, standard reference film and qualitative control)*. Praha: Český normalizační institut, 2003.

Internet

1. KOTLÁNOVÁ, Alice: Metody zkoušení fyzikálně-chemických vlastností tuhých biopaliv. *Biom.cz* [online]. 2010-06-30 [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/metody-zkouseni-fyzikalne-chemickyh-vlastnosti-tuhych-biopaliv>>. ISSN: 1801-2655.
2. STUPAVSKÝ, Vladimír, HOLÝ, Tomáš: Skladování pelet a dalších tvarových biopaliv v rodinných domech. *Biom.cz* [online]. 2010-08-02 [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/skladovani-pelet-a-dalsich-tvarovych-biopaliv-v-rodinnych-domech>>. ISSN: 1801-2655.
3. *Biom.cz: České sdružení pro biomasu* . [online]. *Biom.cz* 2018-02-28 [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/legislativa/fyto-legislativa#eu>
4. KOLONIČNÝ, Jan: Emise při spalování biomasy. *Biom.cz* [online]. 2010-06-07 [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy-2>>. ISSN: 1801-2655.
5. *Mpo.cz: Obnovitelné zdroje energie v roce 2016:Mpo.cz* [online]. 2017-11-01 [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2017/11/Obnovitelne-zdroje-energie-v-roce-2016.pdf>
6. *Mpo.cz: Brikety a pelety v roce 2012:Mpo.cz* [online]. 2013 [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument145295.html>
7. *Eur-lex.europa.eu: Úřední věstník Evropské unie: eur-lex.europa.eu* [online]. 2009-05-06 [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:cs:PDF>

8. *Eur-lex.europa.eu: Úřední věstník Evropské unie: eur-lex.europa.eu* [online]. 2014-10-28 [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=EN>
9. *Eur-lex.europa.eu: Úřední věstník Evropské unie: eur-lex.europa.eu* [online]. 2009-11-14 [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009R1069&from=EN>
10. *Česká agentura pro standardizaci: ČSN Normy: csnonlinefirmy.agentura-cas.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/vysledky.aspx>
11. STUPAVSKÝ, Vladimír, HOLÝ, Tomáš: Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá. *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>. ISSN: 1801-2655.
12. UTĚŠIL, Tomislav: Suška na biomasu. Sborník příspěvků ze semináře „Energie z biomasy X“. *Biom.cz* [online]. 2010-12-01 [cit. 2018-03-04] <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/suska-na-biomasu>
13. *Oficiální web programu NZU, Zelená úsporám. Popis programu: zelenausporam.cz* [online]. 2009 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.zelenausporam.cz/sekce/470/popis-programu/>
14. *Operační program Životního prostředí. Popis programu: opzp.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.opzp.cz/>
15. *Ministerstvo průmyslu a obchodu: EFEKT energie efektivně: Mpo.efekt.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/cz>

16. *Operační program Podnikání a inovace: Eko.energie: Mpo.cz* [online]. 2007 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/30833/52146/589874/priloha012.pdf>
17. *Ministerstvo průmyslu a obchodu: Možnost podpory v oblasti úspor energie: Mpo.cz* [online]. 2017-11-03 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/dotace-na-uspory-energie/moznosti-podpory-v-oblasti-uspor-energie--233023/>
18. *Zpravodajství životního prostředí: Technologie briketování - co je třeba znát: enviweb.cz* [online]. 2013-3-11 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/94462>
19. *BRIKLIS - Slovakia, s.r.o.: Briketovací linky BRISUR 200 až 400: briklis.sk* [online]. 2018 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.briklis.sk/index.php/briketovacie-lisy-na-drevo/briketovacie-linky>
20. *BRIKLIS, spol. s.r.o.: Briketovací lis BrikStar 30, 50, 70: briklis.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: http://www.briklis.cz/briketovaci-lis/30-50-70/#product-tabs=technicke_udaje
21. *Briklis. Briketovací lis BrikStar CS 30-12: Technické údaje* [online]. 2018 [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <http://www.briklis.cz/downloads/vykres/BrikStar-30-50-70-12R.pdf>
22. *Briklis. Briketovací lis BrikStar CS 30-12: základní informace o údržbě* [online]. 2018 [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <http://www.briklis.cz/servis/zakladni-informace-o-udrzbe/>

23. TÜV NORD Czech, s.r.o.. *Stanovení mechanické odolnosti* [online]. 2018 [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <http://pelety-biomasa.cz/zkousky-pelet-a-briket/stanoveni-mechanicke-odolnosti/>
24. Resort životního prostředí. *Směrnice č.14 -2006, Brikety z dřevního odpadu* [online]. 2016 [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: [http://cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/MZPMSFHMV9DV/\\$FILE/142006.pdf](http://cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/MZPMSFHMV9DV/$FILE/142006.pdf)
25. Lesy České republiky, s. p., *Smrk* [online]. 2018 [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://lesyrcz.cz/drevo/charakteristika-dreva-jednotlivych-drevin/smrk/>
26. Lesy České republiky, s. p., *Modřín* [online]. 2018 [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://lesyrcz.cz/drevo/charakteristika-dreva-jednotlivych-drevin/modrin/>
27. Úřad průmyslového vlastnictví, *Výpis z databáze Patentů a Užiténých vzorů, Laboratorní briketovací lis* [online]. 2010-27-01 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: https://isdv.upv.cz/webapp/webapp.pts.det?xprim=1490080&lan=cs&s_majs=%C4%8Cesk%C3%A1%20zem%C4%9Bd%C4%9Blsk%C3%A1&s_puvo=Bro%C5%BEek&s_naze=&s_annot=

9 Přílohy

Příloha 1

Smrk piliny – naměřené a vypočítané hodnoty

	výška [mm]	hmotnost [g]	síla [N]	průměr [mm]	hustota [kg.m⁻³]
1	57.7	120.5	6450.0	51.0	1023.0
2	59.4	122.5	7500.0	51.2	1003.3
3	54.1	110.7	6500.0	51.1	995.8
4	52.5	109.2	5550.0	51.3	1005.4
5	58.9	123.8	5100.0	52.0	991.4
6	52.3	107.5	4900.0	51.6	983.3
7	48.1	101.6	4350.0	51.6	1010.6
8	51.7	108.1	5650.0	51.7	997.2
9	48.8	103.9	4600.0	51.2	1037.2
10	46.5	99.5	5300.0	51.3	1036.1
11	51.7	109.9	5550.0	51.1	1034.5
12	52.9	110.4	6550.0	51.7	995.3
13	57.6	118.8	6200.0	51.3	997.0
14	61.1	127.8	4850.0	51.4	1008.3
15	60.8	130.1	8550.0	51.6	1025.2
16	61.8	125.2	7350.0	51.2	983.4
17	54.0	112.4	5500.0	51.1	1016.5
18	52.3	111.1	5150.0	51.1	1037.8
19	48.8	100.6	4850.0	51.3	998.2
20	46.9	98.2	4150.0	51.3	1014.5
21	49.8	103.9	5000.0	51.3	1010.2
22	56.6	117.1	4800.0	51.1	1011.7
23	58.5	121.1	5450.0	51.0	1013.8
24	60.7	125.3	7100.0	50.9	1016.5
25	53.0	111.8	4450.0	51.3	1020.4
26	49.9	104.3	4700.0	51.3	1010.5
27	46.3	96.1	4950.0	51.4	1001.8
28	51.8	108.7	4800.0	51.2	1019.6
29	48.0	102.7	5500.0	50.4	1074.4
30	53.4	113.5	6400.0	51.1	1035.6
31	54.4	116.7	6250.0	51.3	1040.9
32	57.1	119.7	5900.0	51.4	1008.6
33	55.5	115.7	7400.0	51.3	1009.6
34	54.0	111.4	6050.0	51.2	1002.8

35	54.4	114.2	6250.0	51.4	1013.6
36	56.5	117.6	6200.0	51.2	1009.2
37	50.0	106.9	5750.0	51.3	1035.0
38	49.7	106.9	5600.0	51.1	1047.8
39	53.7	115.3	7250.0	51.1	1044.9
40	51.1	107.1	4950.0	50.9	1030.2
41	54.0	116.1	6550.0	50.3	1083.4
42	61.2	125.5	7450.0	51.3	989.9
43	59.6	127.5	7150.0	51.0	1047.6
44	60.6	129.2	6150.0	50.8	1051.8
45	53.3	113.8	6900.0	51.7	1018.2
46	60.4	128.0	8850.0	51.1	1033.8
47	50.6	108.3	5250.0	51.5	1028.7
48	52.0	110.2	5250.0	51.0	1036.8
49	56.4	116.4	6100.0	51.3	997.3
50	54.3	114.9	7250.0	51.2	1027.0
51	56.6	119.3	6750.0	51.0	1031.3
52	61.7	127.7	6700.0	51.1	1007.9
53	58.6	124.2	6950.0	51.2	1031.5
54	54.0	115.2	6300.0	51.1	1040.2
55	52.4	114.2	6000.0	51.0	1066.5
56	53.9	110.7	4350.0	51.3	995.0
57	50.7	105.9	4500.0	51.1	1019.1
58	52.6	111.7	5450.0	51.1	1036.7
59	51.0	108.6	5500.0	51.2	1035.9
60	52.9	114.2	7100.0	51.1	1052.7
61	54.0	114.1	4750.0	50.7	1048.0
62	57.0	121.9	5850.0	51.2	1038.3
63	53.5	115.5	6850.0	50.7	1069.7
64	50.5	108.3	6400.0	51.3	1037.1
65	51.1	109.2	5600.0	51.2	1038.5

Příloha 2

Modřín piliny – naměřené a vypočítané hodnoty

	výška [mm]	hmotnost [g]	síla [N]	průměr [mm]	hustota [kg.m⁻³]
1	56.5	118.4	5500.0	51.1	1020.7
2	58.2	122.4	5300.0	51.6	1007.0
3	59.0	122.7	4800.0	50.9	1023.2
4	59.9	122.4	2600.0	51.2	993.5
5	58.7	111.4	3600.0	51.4	913.4
6	53.5	103.8	3500.0	51.8	920.1
7	53.4	110.6	5550.0	51.1	1008.0
8	53.6	114.1	5250.0	50.9	1046.8
9	56.6	114.9	6300.0	51.3	982.4
10	52.8	105.9	3550.0	50.4	1008.3
11	53.9	106.4	5250.0	51.2	958.4
12	50.2	103.5	4800.0	50.9	1012.0
13	52.9	111.0	4750.0	51.2	1017.0
14	54.5	113.2	5800.0	51.6	994.5
15	55.5	116.1	6000.0	51.2	1018.5
16	55.7	109.8	4150.0	51.4	950.2
17	57.6	120.8	4400.0	51.5	1007.8
18	58.6	114.7	5500.0	51.4	943.1
19	53.2	106.7	4650.0	51.5	960.6
20	52.4	108.3	5650.0	51.3	999.5
21	52.3	105.1	5250.0	51.5	965.6
22	49.7	103.6	4600.0	51.2	1011.1
23	49.4	101.4	4200.0	51.7	980.3
24	47.8	100.1	5050.0	51.5	1005.1
25	49.6	105.0	4700.0	51.7	1009.6
26	48.9	104.2	5250.0	51.2	1035.8
27	48.4	103.0	6000.0	51.6	1019.0
28	50.0	106.4	4650.0	51.1	1039.5
29	50.6	108.6	5350.0	51.0	1049.4
30	52.2	108.3	4600.0	51.6	990.2
31	52.7	103.7	4400.0	51.8	935.9
32	58.1	119.7	5700.0	51.0	1007.4
33	62.1	126.5	4350.0	51.5	977.6
34	59.7	125.3	4150.0	51.5	1008.7
35	60.3	126.1	4100.0	51.2	1015.2
36	58.7	121.2	4150.0	51.5	991.3
37	59.4	114.7	4300.0	51.5	926.3

38	53.6	105.0	4550.0	51.6	936.2
39	53.3	107.3	4200.0	51.3	971.9
40	53.7	107.1	4150.0	51.4	961.8
41	54.2	109.8	4250.0	51.3	979.2
42	52.2	106.6	3700.0	51.6	976.2
43	49.8	103.5	4150.0	51.6	992.1
44	52.4	107.2	4800.0	51.5	980.2
45	52.1	105.9	4100.0	51.7	968.6
46	49.9	105.1	4300.0	51.1	1027.6
47	52.5	110.7	5000.0	51.5	1014.0
48	50.2	105.4	4900.0	51.2	1021.4
49	51.5	107.6	4800.0	51.5	1002.0
50	49.9	106.1	4650.0	51.4	1024.7
51	49.5	106.5	5000.0	50.6	1070.6
52	49.9	105.9	4950.0	51.2	1033.2
53	49.8	108.0	5350.0	51.9	1026.7
54	48.6	104.8	4750.0	51.5	1035.5
55	51.2	109.7	5400.0	51.2	1040.5
56	49.3	107.2	5200.0	51.6	1041.3
57	51.5	106.0	5000.0	51.4	993.3
58	48.3	103.8	4950.0	51.2	1044.0
59	50.5	110.7	5550.0	51.3	1058.7
60	48.0	104.2	6100.0	51.6	1037.9
61	49.9	108.3	4250.0	51.2	1054.8
62	48.4	104.4	4450.0	51.5	1036.1
63	47.6	102.2	4550.0	52.1	1005.5
64	49.5	107.9	5150.0	51.4	1051.3
65	51.9	111.4	5700.0	51.8	1017.3

Příloha 3

Papír – naměřené a vypočítané hodnoty

	výška [mm]	hmotnost [g]	síla [N]	průměr [mm]	hustota [kg.m⁻³]
1	50.7	127.1	14500.0	50.8	1238.8
2	47.0	122.2	9550.0	51.0	1272.9
3	55.7	142.6	17700.0	50.5	1277.2
4	46.4	119.2	13150.0	50.7	1271.4
5	55.9	140.0	15300.0	50.3	1260.6
6	51.4	131.3	16200.0	50.7	1267.6
7	49.6	120.9	9500.0	50.8	1201.6
8	46.4	115.2	11500.0	50.8	1228.2
9	40.2	98.2	9850.0	50.5	1221.4
10	42.2	108.5	11200.0	51.0	1260.5
11	43.7	109.5	14100.0	51.1	1224.2
12	47.8	123.6	13150.0	50.5	1290.7
13	51.1	130.4	9650.0	51.0	1251.4
14	45.4	117.9	8600.0	49.7	1340.8
15	45.0	114.1	13200.0	50.9	1248.1
16	53.4	138.1	14100.0	50.6	1285.8
17	43.9	111.0	9700.0	50.6	1255.9
18	45.2	116.8	15200.0	50.7	1277.7
19	39.1	103.0	9800.0	51.0	1291.7
20	56.0	131.6	13950.0	51.0	1152.3
21	38.0	94.0	11500.0	51.0	1213.5
22	53.8	134.7	11200.0	50.4	1257.0
23	46.9	121.1	15000.0	51.3	1252.3
24	63.5	163.5	19800.0	50.9	1264.0
25	55.7	141.6	18650.0	50.5	1270.7
26	38.8	98.9	12600.0	50.1	1293.4
27	47.8	123.0	15300.0	50.4	1293.5
28	39.3	99.3	14200.0	50.3	1270.2
29	50.5	131.0	18500.0	50.3	1307.3
30	39.0	98.9	11000.0	50.7	1256.1
31	38.9	93.0	8500.0	51.3	1157.9
32	48.4	120.4	15950.0	50.4	1244.4
33	49.6	126.8	11050.0	50.3	1289.3
34	40.9	104.1	14800.0	50.4	1275.3
35	43.1	106.2	11000.0	50.5	1229.5
36	62.9	152.7	18850.0	50.6	1206.3
37	62.1	150.0	15000.0	50.6	1202.5
38	47.0	108.8	11650.0	50.6	1151.9

39	54.0	135.9	11600.0	50.5	1254.5
40	51.0	122.8	12850.0	50.3	1212.7
41	38.9	88.6	7000.0	50.3	1145.9
42	51.6	129.3	13700.0	50.8	1236.3
43	44.5	102.3	8000.0	51.3	1115.4
44	52.8	125.0	14600.0	50.7	1173.8
45	44.5	102.3	15200.0	51.5	1102.6
46	50.9	132.8	10100.0	50.7	1289.5
47	50.4	128.4	14500.0	50.5	1269.4
48	52.1	128.5	11150.0	50.7	1220.7
49	52.6	142.1	18050.0	50.3	1362.2
50	51.7	131.4	14300.0	51.0	1243.9
51	53.7	142.5	16500.0	50.8	1309.7
52	50.5	124.8	11450.0	50.5	1235.8
53	43.5	111.2	10850.0	51.1	1244.2
54	50.1	127.3	9700.0	51.1	1241.9
55	50.6	124.1	12200.0	50.6	1220.1
56	62.2	159.6	22400.0	51.3	1239.5
57	43.0	108.3	11800.0	50.1	1276.2
58	54.7	144.0	16200.0	51.0	1289.2
59	56.4	150.7	18450.0	50.9	1310.9
60	48.8	116.4	13050.0	50.3	1203.0
61	51.4	135.7	17800.0	50.8	1304.9
62	45.7	103.7	8350.0	51.4	1091.8
63	39.9	94.2	8100.0	49.3	1234.5
64	43.8	101.6	9700.0	50.4	1162.4
65	46.5	121.5	14150.0	50.6	1299.2

Příloha 4

Miscanthus – naměřené a vypočítané hodnoty

	výška [mm]	hmotnost [g]	síla [N]	průměr [mm]	hustota [kg.m⁻³]
1	41.3	89.7	7000.0	51.2	1056.6
2	48.9	111.4	12400.0	50.1	1157.0
3	45.3	101.0	9950.0	50.7	1103.6
4	43.3	96.3	9350.0	51.4	1070.3
5	58.3	130.8	12150.0	51.0	1099.6
6	54.7	121.6	14700.0	51.1	1085.4
7	45.7	103.2	9700.0	51.5	1085.3
8	43.8	98.4	10300.0	51.0	1100.6
9	47.9	104.7	8200.0	51.6	1045.1
10	53.3	119.5	14400.0	51.5	1079.4
11	46.9	103.0	9000.0	50.8	1082.9
12	41.7	98.9	9800.0	50.9	1164.3
13	54.0	118.2	12900.0	50.8	1080.4
14	49.8	100.6	9550.0	50.6	1006.0
15	59.3	129.7	14250.0	51.0	1069.2
16	51.8	112.6	12300.0	51.0	1065.3
17	55.5	125.0	10700.0	51.0	1101.6
18	48.2	99.6	8100.0	51.4	995.3
19	39.2	76.4	4850.0	51.8	923.9
20	53.8	122.4	11200.0	51.3	1101.4
21	49.4	106.4	11550.0	51.6	1032.2
22	57.8	133.6	12200.0	51.3	1119.3
23	43.7	97.5	8750.0	50.8	1102.6
24	49.5	108.6	9800.0	51.0	1072.5
25	52.3	113.0	11650.0	50.7	1071.7
26	52.5	113.6	10450.0	50.3	1088.2
27	52.6	112.3	10100.0	51.0	1047.2
28	49.7	109.6	9400.0	51.0	1078.9
29	50.1	111.8	10250.0	50.4	1120.1
30	51.3	114.2	9400.0	50.8	1097.0
31	57.6	126.6	10100.0	51.2	1066.6
32	51.1	105.3	6950.0	50.7	1021.5
33	54.6	119.2	10050.0	51.2	1060.6
34	54.4	122.3	9500.0	51.0	1101.4
35	51.7	118.0	9990.0	51.2	1107.9
36	47.2	104.9	8400.0	51.0	1089.1
37	52.2	113.8	9900.0	50.6	1085.8

38	48.0	109.2	8800.0	51.4	1098.1
39	57.9	125.4	9500.0	50.7	1071.0
40	44.9	100.5	7150.0	50.8	1102.5
41	45.8	100.1	7850.0	50.9	1073.7
42	54.3	120.5	10450.0	51.3	1072.9
43	50.2	112.7	11800.0	51.0	1099.6
44	48.7	105.7	9850.0	51.3	1048.7
45	49.2	108.8	9450.0	51.1	1080.2
46	55.4	119.7	12500.0	51.0	1060.5
47	51.5	107.8	8650.0	51.2	1017.7
48	53.8	116.2	9000.0	51.6	1032.6
49	57.7	126.8	10050.0	51.1	1070.4
50	53.1	119.0	10650.0	50.8	1105.3
51	52.9	117.0	10600.0	51.2	1074.7
52	52.1	114.3	11250.0	51.1	1069.7
53	57.6	132.4	14600.0	51.1	1121.7
54	52.1	166.4	10300.0	51.1	1555.2
55	52.7	114.7	9350.0	51.3	1052.2
56	46.4	102.2	8100.0	50.9	1085.0
57	51.3	112.0	10850.0	50.7	1080.8
58	50.1	11.7	8950.0	51.0	114.4
59	56.7	126.9	12500.0	51.4	1079.0
60	48.7	106.1	9750.0	51.8	1033.3
61	47.9	108.0	12450.0	51.2	1096.7
62	53.9	119.2	10750.0	51.5	1062.0
63	46.7	107.7	9350.0	51.2	1122.2
64	49.4	104.4	9900.0	51.5	1016.9
65	50.6	115.7	10150.0	50.8	1130.6

Příloha 5

Topol osika – naměřené a vypočítané hodnoty

	výška [mm]	hmotnost [g]	síla [N]	průměr [mm]	hustota [kg.m⁻³]
1	58.5	120.2	4000.0	52.1	964.4
2	57.7	117.4	3500.0	51.1	992.4
3	63.5	128.3	4000.0	52.8	922.0
4	56.7	111.2	2950.0	52.8	898.0
5	58.0	117.3	4300.0	52.0	953.4
6	61.6	123.5	5300.0	52.4	929.0
7	58.5	119.2	4050.0	51.1	991.7
8	51.5	98.9	2500.0	52.4	891.2
9	56.5	115.4	3200.0	52.0	963.5
10	48.6	101.9	3100.0	52.3	976.5
11	56.6	115.0	3100.0	52.0	957.3
12	48.7	95.6	1500.0	53.2	882.5
13	56.7	113.1	2450.0	51.5	959.4
14	67.5	138.6	3750.0	51.6	981.1
15	61.6	121.1	4500.0	51.1	960.9
16	60.8	121.7	3500.0	52.0	944.8
17	65.1	133.3	3700.0	52.8	935.8
18	53.6	104.1	2450.0	52.4	899.4
19	56.1	114.8	4800.0	51.9	967.5
20	50.5	100.9	2900.0	51.8	947.0
21	57.5	117.6	4950.0	52.5	944.6
22	52.1	102.7	2100.0	52.6	906.8
23	58.2	118.0	4050.0	53.3	909.4
24	60.6	121.1	4550.0	51.5	960.6
25	61.0	125.3	4350.0	52.0	967.7
26	58.0	114.7	3450.0	52.0	932.0
27	61.1	127.0	3900.0	51.8	985.8
28	64.7	128.4	4800.0	52.1	930.3
29	58.2	119.5	4150.0	51.5	984.2
30	62.2	132.3	5850.0	52.5	982.7
31	57.6	121.0	3600.0	51.1	1025.2
32	49.3	102.0	2950.0	52.0	973.4
33	56.4	115.6	2550.0	51.7	975.2
34	63.1	131.9	3900.0	50.8	1030.4
35	50.8	104.3	2650.0	51.1	1000.5
36	56.5	109.4	2200.0	52.7	888.4
37	57.7	116.1	4000.0	52.3	937.6
38	59.1	116.5	3700.0	53.0	893.6

39	60.1	123.2	3900.0	51.3	992.7
40	56.8	119.2	5400.0	51.2	1019.7
41	60.2	128.9	7500.0	51.5	1027.8
42	54.9	118.2	4650.0	52.1	1009.5
43	62.2	121.6	2500.0	52.5	904.4
44	58.1	117.6	2850.0	51.4	976.8
45	58.9	115.7	3250.0	52.6	906.3
46	62.7	129.1	5400.0	52.0	971.7
47	61.5	125.6	4000.0	53.3	916.7
48	63.3	129.1	5950.0	51.0	997.9
49	58.7	121.9	3150.0	52.4	961.7
50	58.8	116.9	3400.0	52.5	920.0
51	53.8	106.5	3100.0	52.5	914.1
52	59.5	120.3	4000.0	50.5	1008.9
53	61.7	117.4	3850.0	52.5	878.0
54	63.1	127.3	6000.0	51.7	960.6
55	63.8	125.8	3000.0	52.5	911.8
56	62.5	126.8	4950.0	52.0	954.8
57	66.2	134.1	3900.0	51.8	960.2
58	60.1	123.6	3950.0	52.2	960.8
59	63.0	131.0	3700.0	51.9	984.9
60	61.4	128.4	4300.0	52.1	981.3
61	61.9	134.1	4800.0	51.7	1029.9
62	55.0	113.2	3150.0	51.7	980.8
63	55.1	115.3	3200.0	51.7	998.1
64	53.8	110.2	2300.0	51.9	967.5
65	62.1	127.0	3300.0	51.1	995.5

Příloha 6

Čaj sypaný – naměřené a vypočítané hodnoty

	výška [mm]	hmotnost [g]	síla [N]	průměr [mm]	hustota [kg.m⁻³]
1	55.3	115.7	3400.0	51.9	988.6
2	55.0	113.8	3250.0	51.5	991.8
3	55.5	115.8	4000.0	51.6	999.0
4	55.0	113.8	2250.0	51.7	987.2
5	48.9	104.9	3500.0	52.2	1003.5
6	52.3	115.7	4500.0	50.3	1114.1
7	53.7	121.4	4200.0	51.2	1098.9
8	55.4	124.2	2800.0	51.5	1074.6
9	59.8	129.5	4500.0	51.2	1052.7
10	53.0	116.0	4150.0	51.8	1039.4
11	50.4	108.3	2700.0	51.0	1052.1
12	51.0	108.5	3450.0	50.6	1060.1
13	51.8	109.1	3650.0	50.8	1038.5
14	52.5	109.1	2750.0	50.2	1050.4
15	53.1	111.2	3400.0	51.5	1006.9
16	53.8	114.5	2950.0	51.5	1023.7
17	52.7	115.0	4050.0	50.6	1083.5
18	53.3	116.7	4300.0	51.0	1070.1
19	53.0	116.7	5100.0	51.2	1068.7
20	53.0	118.1	3650.0	51.1	1087.0
21	53.0	119.8	2400.0	51.4	1089.6
22	50.9	115.1	3750.0	52.1	1061.5
23	50.8	113.6	4400.0	52.1	1050.0
24	47.2	105.0	3500.0	51.9	1052.7
25	49.0	109.6	3750.0	51.5	1074.6
26	49.3	110.4	4700.0	52.1	1052.9
27	47.3	104.9	4200.0	51.3	1074.2
28	51.2	112.6	4600.0	50.9	1081.4
29	48.0	107.4	4450.0	52.4	1038.3
30	49.6	110.7	3750.0	52.0	1052.8
31	49.2	110.6	4650.0	52.2	1050.2
32	51.1	111.9	3550.0	52.1	1028.6
33	51.2	113.8	2700.0	52.2	1040.6
34	51.5	112.9	3650.0	51.7	1044.9
35	50.3	111.3	3450.0	51.9	1047.1
36	59.9	109.5	2850.0	52.2	854.3
37	49.1	109.2	3750.0	51.8	1056.0

38	50.3	111.2	4000.0	51.7	1053.1
39	50.8	112.1	3550.0	51.9	1042.7
40	50.1	109.2	3350.0	52.1	1020.8
41	50.2	109.8	3600.0	52.0	1029.1
42	49.3	107.7	3250.0	52.1	1024.6
43	50.1	109.8	3200.0	52.3	1018.0
44	50.8	110.2	3500.0	52.1	1019.1
45	51.2	112.6	3150.0	51.9	1040.4
46	51.0	111.2	3550.0	52.2	1019.2
47	50.2	108.8	3600.0	52.1	1018.0
48	51.4	111.9	3400.0	52.1	1021.8
49	51.7	112.7	3500.0	52.0	1026.1
50	50.8	109.9	3600.0	52.0	1020.3
51	49.8	108.5	3700.0	51.9	1029.7
52	51.6	110.5	3650.0	51.9	1011.7
53	50.6	109.5	4150.0	51.8	1027.7
54	50.2	107.1	3150.0	51.7	1015.1
55	52.6	111.1	3400.0	51.6	1010.2
56	52.8	113.4	3450.0	52.1	1009.9
57	52.7	112.8	3050.0	51.9	1012.3
58	52.7	112.6	3550.0	51.8	1012.7
59	53.4	112.8	3800.0	51.9	1000.6
60	52.5	112.5	2850.0	51.8	1017.8
61	54.0	115.2	3050.0	51.0	1045.5
62	53.7	114.0	3600.0	52.0	999.6
63	54.2	115.4	3350.0	51.6	1017.6
64	54.9	116.6	3500.0	50.4	1063.8
65	55.5	116.9	3550.0	51.7	1002.0