

Česká zemědělská univerzita v Praze



Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Briketování nekovových materiálů

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Autor diplomové práce: Bc. Miloš Kulháněk

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Miloš Kulhánek

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Briketování nekovových materiálů

Název anglicky

Briquetting of non-metallic materials

Cíle práce

- shromáždit informace o technologii briketování a jejím použití pro briketování nekovových materiálů,
- experimentálně stanovit a posoudit vlastnosti briket zhotovených z vybraných nekovových materiálů,
- provést technicko-ekonomické 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

briketa; briketování; briketovací lis; nekovové materiály

Doporučené zdroje informací

- BARTOŠ, V.: Briketování kovových a nekovových materiálů (Diplomová práce). Praha, TF ČZU 2000. 66 s.
- BLAŠČÍK, F. aj.: Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvárania. Bratislava, ALFA 1987. 830 s.
- 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.: Properties of briquettes from recovered paper and board. The Sixth International Scientific Conference Rural Development 2013. Akademija, Kaunas district, University of Agriculture (Aleksandras Stulginskis University). 2013, 6(3), s. 25-30.
- BROŽEK, M.: Study of briquettes properties at their long-time storage. Journal of Forest Science. 2013, 59(3), s. 101-106.
- ESSIEN, U. A., OKE, P. K.: Modelling the effect of compaction pressure on the densification of agricultural waste briquetting. African Journal of Science Technology Innovation & Development. 2019, 11(5), s. 579-588.
- FLORENTINO-MADIEDO, L., DÍAZ-FAES, E., BARRIOCANAL, C.: Mechanical strength of bio-coke from briquettes. Renewable Energy. 146, 2020, s. 1717-1724.
- KOLÁŘOVÁ, M.: Vlastnosti pelet a briket pro energetické využití (Doktorská disertační práce). Praha, ČZU 2011. 121 s.
- PATIL, G.: The possibility study of briquetting agricultural wastes for alternative energy. Indonesian Journal of Forestry Research. 2019, 6(2), s. 133-139.
- PLÍŠTIL, D.: Briketování a paketování (Doktorská disertační práce). Praha, ČZU 2005. 169 s.
-

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 21. 1. 2020

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 23. 01. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma "Briketování nekovových materiálů" vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Milana Brožka, CSc. K vypracování jsem použil odbornou literaturu a další informační zdroje, které jsem uvedl v seznamu literatury.

V Praze dne 31. 3. 2021

Podpis:

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval mému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Milanovi Brožkovi, CSc. za odborné vedení, ochotu a užitečné rady po celou dobu zpracování mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval spolupracovníkům z katedry materiálu a strojírenské technologie, za jejich odborné rady a zkušenosti, jmenovitě Alexandře Novákové.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá základním pohledem na technologii briketování nekovových materiálů. Cílem práce je využít odpadních materiálů k výrobě briket. Práce se zabývá měřeními mechanické odolnosti, vlhkosti, zkoušce na univerzálním zkušebním stroji a měrné hmotnosti briket o průměru 52 a 65 mm, vzájemným porovnáním dosažených hodnot a statistickým vyhodnocením naměřených hodnot. Součástí je také technicko-ekonomické zhodnocení na provoz briketovacího lisu. Hlavním cílem práce je zjištění, který ze zkoušených materiálů obstojí v provedených zkouškách.

Klíčová slova: Briketa, briketování, briketovací lisy, nekovové materiály

Briquetting of non-metallic materials

Summary

This diploma thesis is a basic view on technology of briquetting non-metallic materials. The aim of this thesis is to use waste materials to produce briquettes. This thesis deals with measuring of mechanical resistance and of humidity, test on a universal testing machine and density of briquettes with a diameter of 52 and 65 mm, mutual comparison of obtained values and statistical evaluation of measured values. It also includes technical-economic evaluation for the operation of the briquetting press. The main objective of this thesis is to determine, which of the tested materials passes the tests performed.

Key words: Briquette, briquetting, briquetting presses, non-metallic materials

Obsah

1 Úvod	1
2 Biomasa	2
2.1 Biomasa využitelná k energetickým účelům	2
2.2 Způsoby využití biomasy k energetickým účelům	3
2.3 Zdroje dřevní hmoty pro energetické a jiné využití	4
2.3.1 Palivové dřevo	5
2.3.2 Těžební zbytky	5
2.3.3 Manipulační odřezky	5
2.3.4 Pařezy a kořeny	5
2.3.5 Lesní štěpky	5
2.3.6 Odpady dřevozpracujícího průmyslu	6
3 Briketování	6
3.1 Technologie lisování odpadního papíru	7
3.2 Technologie lisování slámy a jiných zemědělských materiálů	9
4 Briketa	10
4.1 Vlastnosti briket	10
4.1.1 Velikost částic	11
4.1.2 Vlhkost materiálu	11
4.1.3 Měrná hmotnost	11
4.1.4 Mechanická odolnost	12
4.1.5 Výhřevnost	12
4.1.6 Obsah popela	12
4.2 Výhody a nevýhody dřevěných briket	13
4.2.1 Výhody dřevěných briket	13
4.2.2 Nevýhody dřevěných briket	14
4.3 Výroba briket	15
4.4 Dovoz a vývoz briket a pelet	16
5 Zařízení používaná při briketování nekovových materiálů	16
5.1 Briketovací lisy	16
5.1.1 Briketovací linky	19
5.2 Sušárny	25
5.2.1 Sušárny pilin BUS	25
5.2.2 Sušárna štěpky SUS	26
5.3 Zařízení pro dezintegraci materiálu	26
5.3.1 Štěpkovače	27

5.3.2	Drtiče	28
6	Stanovení a posouzení vlastností briket vyrobených z vybraných nekovových materiálů	29
6.1	Cíl práce	29
6.2	Metodika práce	30
6.2.1	Použité materiály	30
6.2.2	Briketování materiálů	31
6.2.3	Testování vyrobených briket a zjištění jejich mechanické odolnosti.....	32
6.2.4	Zkouška lomové síly	34
6.2.5	Statistické vyhodnocení.....	34
6.3	Výsledky experimentů	38
6.3.1	Smrk - hobliny	39
6.3.2	Dub hobliny	40
6.3.3	Habr - štěpka.....	41
6.3.4	Kancelářský papír - skart	42
6.4	Statistické vyhodnocení briket o průměru 52 mm	43
6.5	Statistické vyhodnocení briket o průměru 65 mm	45
6.6	Brikety průměr 52 mm x průměr 65 mm	47
7	Technicko-ekonomické zhodnocení	48
7.1	Základní informace	48
7.2	Náklady	48
7.3	Výnosy	50
7.4	Zhodnocení	50
8	Závěr	51
9	Seznam použité literatury	53
	Seznam obrázků.....	55
	Seznam tabulek	57
	Seznam zkratk.....	57

1 Úvod

Zásobování palivy a energiemi je problém, který znepokojuje celou společnost na různých úrovních řízení. Je umocňován dosavadními trendy světového populačního růstu, rostoucí spotřebou energie, rychlým poklesem zásob fosilních paliv, zdánlivě pomalým technickým pokrokem v objevování nových obnovitelných zdrojů energie, negativními dopady na životní prostředí. (Pastorek, 2007)

Obnovitelné zdroje energie nebudou patřit mezi rozhodující vysokopotenciální energetické zdroje, mohou však mít významný regionální a lokální přínos. (Pastorek, 2007)

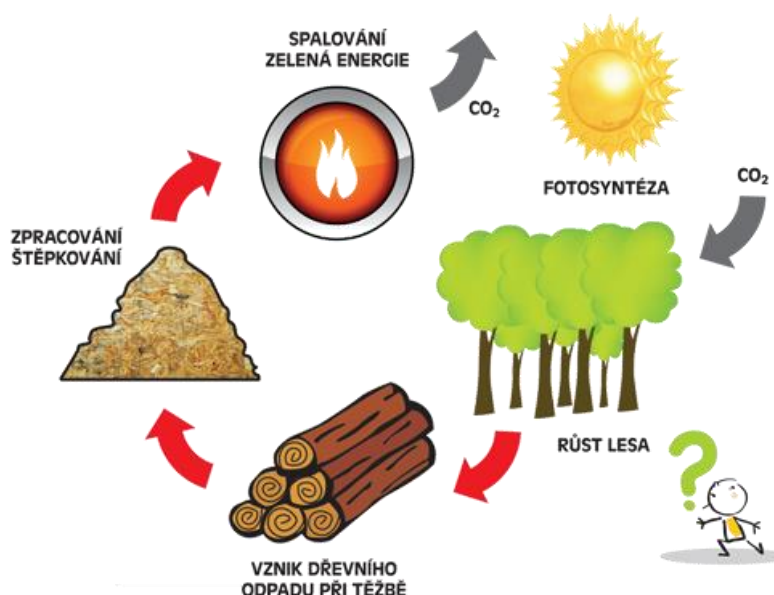
Briketování je tvarová úprava, která využívá mechanických a chemických vlastností materiálů. Použitím vysokotlakého lisování zhutňují do kompaktních tvarů bez přídavku pojiva využitím pryskyřic obsažených v materiálu. Tato úprava představuje velmi progresivní způsob zpracování truhlářských, pilařských, papírenských a průmyslových odpadních materiálů. (Malaťák, 2008), (Hrázský, 1999)

Briketa je palivo uměle upravené lisováním sypkého materiálu do formy vhodné pro spalování. Důležitými vlastnostmi briket jsou jejich mechanické vlastnosti, které ovlivňují jejich skladovací dobu a manipulaci. (Malaťák, 2008), (Havrland, 2011)

2 Biomasa

Biomasa jsou materiály rostlinného a živočišného původu na průmyslové a energetické využití. Z hlediska produkce energie je velmi důležitá především rostlinná biomasa. Patří sem vše, co roste na poli či v lese, chemicky konzervovaná sluneční energie. Pro energetické účely vzniká hlavně jako odpad při průmyslové, stavební, lesnické, zemědělské a živočišné výrobě. Dřevní odpad a palivové dřevo se poté využívají přímo v kotlích na ohřev nebo je lze lisovat na brikety. V zemědělské a živočišné výrobě vzniká velké množství odpadu, například sláma. Biomasu lze využít nejen na výrobu tepla, ale i pro zplyňování a na výrobu elektrické energie. (Kolář, 2011)

Obrázek 1 – Cyklus dendromasy



Zdroj: <http://www.zsnovestraseci-enviro.cz/author/jindra-jangmail-com/>

2.1 Biomasa využitelná k energetickým účelům

Energetickou biomasu lze rozdělit do několika kategorií.

- fytomasa – hmota rostlin obecně,
- dendromasa – stromy speciálně,
- záměrně pěstovaná (energetická) biomasa – cukrová řepa, obilí, brambory, olejniny, energetické dřeviny jako jsou vrby, topoly, olše, akáty a další stromové a keřovité dřeviny,
- biopaliva – pevná, kapalná, plynná,

- odpadní biomasa,
 - z rostlinné výroby – sláma, plevy,
 - ze živočišné výroby – hnůj, kejda, močůvka,
 - z těžby a zpracování dřeva – nehroubí, piliny, hobliny, odřezky. (Bechník,2009)

2.2 Způsoby využití biomasy k energetickým účelům

Způsob využití biomasy je do značné míry předurčen fyzikálními a chemickými vlastnostmi biomasy. Velice důležitým parametrem je vlhkost, respektive obsah sušiny v biomase. Hodnota 50 % sušiny je hranice mezi mokrymi a suchými procesy.

- termochemická přeměna biomasy (suché procesy pro energetické využití biomasy),
 - spalování,
 - zplyňování,
 - pyrolýza,
- biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy pro energetické využití biomasy),
 - alkoholové kvašení,
 - metanové kvašení,
- fyzikální a chemická přeměna biomasy,
 - mechanicky (štípání, drcení, lisování, briketování, peletování),
 - chemicky (esterifikace surových bioolejů),
- Získávání odpadního tepla během zpracování biomasy (při kompostování, aerobním čištění odpadních vod). (Pastorek, 2007)

Tabulka 1 – Zdroje energeticky využitelných biomasy v ČR (Pastorek, 2007)

Biopalivo	mil. t
odpadní a palivové dřevo	1,7
obilní a řepková sláma	2,7
rychle rostoucí dřeviny a energetické plodiny	1,0
komunální odpad	1,5
spalitelný odpad z průmyslové výroby	1,0
celkem	7,9

2.3 Zdroje dřevní hmoty pro energetické a jiné využití

Při těžbě a zpracování dřeva vzniká nevhodný odpad pro další zpracování. Při pilařském zpracování surové dřevní hmoty se jedná o značné množství odpadu, soustředěného v místech pilařských provozů. Některé segmenty, přibližně 0,5 mil. tun za rok, lze efektivně energeticky využít pro výrobu paliv. (Hrázský, 1999)

Tabulka 2 – Podíl jednotlivých dřevních odpadů z dřevozpracujícího odpadu (Horáček, 2001)

Odpad	Podíl %
Odřezky a štěpky	42,7
Piliny	26,0
Kůra	8,4
Odpad při zpracování řeziva	6,8
Hobliny	5,8
Dýhový odpad	1,9
Kusový odpad velkoplošných materiálů	1,6
Válce a nožové zbytky	1,1
Manipulační zbytky	0,8
Škrabky	0,4
Odpad celkem	100,0

2.3.1 Palivové dřevo

Palivové dřevo je možné charakterizovat jako sortiment velmi nízké technologické vlastnosti. Dodává se ve formě polen a štěpin dlouhých 1 m. Energetické využití celých polen a štěpin je možné jen v topeništích určitých spalovacích zařízení. Ideální je proto dělení na menší špalíky pro spalování v malých lokálních topeništích. (Hrázský, 1999)

2.3.2 Těžební zbytky

Můžeme ho rozdělit do tří částí:

- Klest – nestandardní dříví z vrcholové části stromů a větve do tloušťky 6 cm,
- Vlastní těžební odpad – nestejně dlouhé odřezky kmenové části stromů, které vznikají při příčných řezech v průběhu výroby surového dříví,
- Celé stromky z prořezávek a prvních probírek. (Hrázský, 1999)

2.3.3 Manipulační odřezky

Pod tento pojem spadají krátké odřezky dříví (do 1 m délky), které vznikají při příčném přeřezávání kmenů při jejich druhování a adjustaci. Přímé energetické využití manipulačních odřezků je možné jen u větších topenišť. Štěpkování manipulačních odřezků není příliš obvyklé. (Hrázský, 1999)

2.3.4 Pařezy a kořeny

Odhaduje se, že v ČR se pařezy klučí na ploše cca 1000 ha. To znamená, že při zásobě pařezového dříví minimálně 50m³ na 1 ha představuje roční zdroj cca 50 000 m³ pařezového dříví. U nás obchodní zájem o tento materiál prakticky neexistuje. Pařezy jsou tedy po klučení shrnovány buldozery do valů, kde jsou ponechávány k přirozenému rozpadu. (Hrázský, 1999)

2.3.5 Lesní štěpky

Štěpka je rozsekaný dřevní materiál na malé kousky, které se následně dají využít pro výrobu elektrické energie nebo tepla. Těžební zbytky, klest nebo pařezy, určené pro štěpkování se vyvázejí z těžebních ploch na odvozní místo, kde se tento materiál následně štěpkuje. Rozeznáváme několik druhů štěpky, podle jejího složení a použití. Vyrobené štěpce z těžebních zbytků říkáme štěpka lesní. Vyrobené štěpce ze dřeva bez příměsí kůry či jehličí

říkáme štěpka papírenská, která je určena pro výrobu papíru. Vyrobené štěpce zpracováním pilařského odpadu, zejména krajin říkáme štěpka pilařská. (Almea, 2014)

2.3.6 Odpady dřevozpracujícího průmyslu

Při prvotním mechanickém zpracování dříví vznikají různé druhy odpadů, například krajiny, odřezky řeziva, dýhový odpad, středové válečky po loupání dýh, piliny atd. Uvedené dřevní odpady se dále zpracovávají různými technologiemi jako například spalováním, hydrolýzou, zplynováním, extrakcí nebo briketováním. (Hrázský, 1999)

3 Briketování

Technologie briketování je poměrně stará technologie. První zmínka o briketování pochází z 18. století z Francie. V České republice se technologie briketování v posledních třiceti letech používá v oblasti kovového a nekovového zpracování. V dnešní době se briketování využívá především k výrobě dřevních briket a pelet. Ovšem najde se využití těchto technologií i v širších oblastech, například v recyklaci odpadů, ve strojírenství k odvodňování a odolejování materiálů, zpevňování prachů z filtrů atd. (Briklis, 2015), (Brožek, 2013)

Briketování představuje velmi progresivní způsob zpracování pilařských, truhlářských, papírenských nebo průmyslových odpadních materiálů. Využívá mechanických a chemických vlastností materiálů, které se zhutňují použitím vysokotlakého lisování do kompaktních tvarů bez přídavku pojiva díky pryskyřici obsažené v materiálu. Jednou z omezujících podmínek na vlastnosti materiálu pro zpracování je vlhkost, která je optimální v rozmezí 8 až 11 %. Další omezující podmínkou je zrnitost materiálu, která nesmí přesáhnout velikost 15 mm v jednom směru. V materiálech připravených pro lisování by nemělo být více jak 6-8 % kůry a prachu max. 20 %. Tyto podmínky mají vliv na kvalitu jednotlivých parametrů jako je výhřevnost nebo tvarová stálost. (Malaťák, 2008), (Hrázský, 1999)

Podstatnými vlastnostmi jsou měrná hmotnost a mechanická pevnost. Hlavním faktorem je měrná hmotnost, která určuje mechanickou pevnost, výhřevnost či odolnost proti vlhkosti. Čím větší je měrná hmotnost, tím vyšší je kvalita výsledných briket a tím i vyšší výhřevnost. Například u briket ze smrkových hoblin při hustotě briket $650 - 750 \text{ kg/m}^3$, bude výhřevnost v rozmezí $12 - 16 \text{ MJ/kg}$; pokud bude hustota briket $1200 - 1300 \text{ kg/m}^3$ bude výhřevnost $25 - 31 \text{ MJ/kg}$. (Havrand, 2011)

Briketování probíhá na briketovacích lisech různých konstrukcí podle pohonu, lisovací komory nebo lisovacího nástroje při tlaku 16 MPa i více a teploty přibližně 70 C . (Malaťák, 2008)

3.1 Technologie lisování odpadního papíru

Papír, který není možný recyklovat, je třeba energeticky využít. Papírový odpad, který by mohl být využit na výrobu energie, končí z velké části bez využití na skládkách. Skládkování starého papíru je nejméně výhodnou technologií z hlediska životního prostředí, jelikož neposkytuje žádný přínos a hnilobné plyny na bázi metanu zvyšují obsah skleníkových plynů v ovzduší. (Odpady, 2009)

Společnosti, které se zabývají tříděním, kompostováním a sběrem starého papíru musejí hledat jeho alternativní využití. V poslední době byla publikována řada studií, které stavějí energetické spalování papíru před jeho recyklaci. Tyto studie jsou podloženy několika odbornými diskuzemi. Jeden z publikovaných argumentů je, že papír je biopalivo, které nahrazuje topný olej a jiná fosilní paliva. Jeho spalování tedy znamená omezení emisí oxidu uhličitého. Toto tvrzení podporuje i text vyhlášky číslo 482/2005 Sb., která hovoří o druhotně nevyužitelném papíru a lepence jako biopalivu. (Papírové brikety, 2009)

Volný papírový odpad je nutné před briketováním upravit drcením na rozměr o velikosti maximálně 15 x 15 mm. Správnou velikost drtě lze nejnázáve zajistit na drtiči vybaveným sítem. Čím menší drť, tím je briketa kompaktnější. Má menší oděr a dá se lépe balit. Nevhodná pro briketování je drť ze skartovacích strojů ve formě proužků, jelikož se špatně podává šnekovými dopravníky a navíjí se na šneky při dávkování do lisu. Skartovací stroje by měly být vybaveny nástroji umožňujícími příčný řez, aby proužky nepřesahovaly rozměr 5 x 40 mm. (Papírové brikety, 2009)

Spalováním papíru lze získat z 1 kg sběrného papíru 12 – 15 MJ energie. Pro spalování je velmi důležité vybrat správný papír s minimálním obsahem plnidel a barviv. Nevhodné jsou hlavně reklamní letáky a časopisy, jelikož jsou natisknuty na částečně umělém papíře. Nejvhodnějším pro lisování jsou kartony a novinový papír. Balicí papír bývá někdy potažen vrstvou polyethylenem, který výrazně zvyšuje výhřevnost papíru. Tento malý obsah polyethylenu není závažný problém pro vlastní spalování. (Papírové brikety, 2009)

Tabulka 3 – emisní faktory vztažené na hmotnost paliva v [g/kg] (Papírové brikety, 2009)

Označení	CO	NOx	SO ₂	TOC	TZL
papírové brikety	8,1	0,9	<0,1	1,0	0,30
brikety papír-uhlí	9,8	1,2	<0,1	0,9	0,16
brikety papír-dřevo	23,0	0,6	<0,1	3,0	0,21
dřevěné brikety	34,0	0,7	<0,1	3,5	0,75
papírové pelety	95,0	4,7	<0,1	20,9	0,14
pelety papír-uhlí	140,0	1,2	<0,1	26,0	0,31

Zdroj: <http://www.papirovebrikety.cz/spalovani-papirove-brikety/>

V uvedené tabulce jsou hodnoty výhřevnosti a emisní hodnoty porovnávaných paliv – briket. Jako papír byl použit směsný papír, tj. vytříděný komunální odpad a pilinové brikety, běžně dostupné v obchodní síti. Brikety byly stápany v kotli o výkonu 24 kW.

V tabulce 3 můžeme vidět, že papírové brikety velmi dobře obstojí jako palivo, jelikož emisní hodnoty jsou podobné a v některých příkladech i příznivější než u porovnávaných dřevěných briket. (Papírové brikety, 2009)

3.2 Technologie lisování slámy a jiných zemědělských materiálů

V briketovacích lisech lze briketovat řepkovou i obilnou slámu, seno, makovinu, lněné nebo konopné pazdeří, odpady z čištění semen trávy nebo jetele a další. (MILWOOD)

Nevhodným materiálem pro briketování jsou obilné plevy, příliš přesušený drobný materiál nebo některé odpady z čističek, které obsahují vysoké procento oleje, jako jsou zbytky ze semen řepky, hořčice, některých druhů slunečnice. Nelze briketovat materiál vlhký nebo naopak příliš vysušený a dále příliš dlouhý. (MILWOOD)

Základní podmínkou je vlhkost vstupního materiálu, která by neměla přesahovat 15 %. Při zvyšující se vlhkosti materiálu dochází ke zhoršování kvality briket a při přesáhnutí hranice cca 19 % materiál briketovat nelze. Doporučená velikost lisovaného materiálu je 20 až 30 mm jednosměrně. Proto musí být materiál před lisováním podrcen na požadovanou frakci. Pokud je vstupní frakce větší, dochází k výraznému snížení výkonu lisu. Delší stébla briketovat nelze, neboť je šnekové dopravníky v násypce lisu nedokáží nadávkovat do lisovací komory. (MILWOOD)

Při briketování některých druhů zemědělských odpadů dochází ke zvýšení prokluzu lisovaného materiálu v lisovacích nástrojích po zahřátí lisovacích nástrojů. Tento negativní efekt eliminuje instalace tlumiče vibrací briket. Pokud je efekt prokluzu materiálu extrémní, řeší se tento problém instalací delší raznice, zmenšením průměru brikety, chlazením lisovacích nástrojů. Pro lisování slámy se instalují do násypky lisu podávací šneky speciální konstrukce. Výhřevnost slaměných briket je přibližně 16,5 až 17,5 MJ.kg⁻¹. (MILWOOD)

4 Briketa

Ministerstvo průmyslu a obchodu přistoupilo v roce 2004 k přípravě statistiky výroby a spotřeby briket a pelet z biomasy, jelikož nebyly k dispozici žádné věrohodné údaje o trhu a využívání těchto paliv v ČR. Cílem je poskytnout orgánům státní správy a odborné veřejnosti dostatečné množství podkladů pro rozhodování. Výrobní firmy pak mohou zhodnotit svoji pozici na trhu. (Bufka, 2008)

Na základě výsledků této statistiky byla na počátku roku 2006 otevřena nová jednání o možnosti snížení DPH na brikety a pelety z biomasy, která v roce 2007 vyústila k přeřazení palivového dřeva (a dřevních briket a pelet) do snížené sazby. (Bufka, 2008)

Briketa je druh ekologického paliva, vyráběného z biomasy, nejčastěji z kvalitních dřevěných pilin, hoblin nebo oprané kůry, které vznikají jako vedlejší produkt dřevozpracujícího průmyslu. Briketa se získá lisováním materiálu vhodné velikosti, obvykle 8x8x1 mm, ale při určitých parametrech briketovacího lisu může být rozměr frakce až 40 mm. Lisování se provádí za vysokého tlaku 16 MPa i více a teploty, při které dochází k plastifikaci ligninu. Ten přejímá funkci pojiva. (Bufka, 2008)

Briketami lze topit ve všech typech kotlů, kámen na tuhá paliva, krbů i zahradních grilů. Vysoké energetické hodnoty umí nejlépe využít kotle určené na dřevoplyn, ve kterých se palivo nejprve zplyňuje a teprve potom se plyn spaluje s účinností až 90 %. (Hrázský, 1999)

4.1 Vlastnosti briket

Brikety musí splňovat požadavky platných technických, bezpečnostních, zdravotních, obchodních, hygienických a jiných předpisů, které se týkají ochrany životního prostředí na výrobek a jeho výrobu. Z mechanických vlastností paliv ve formě briket jsou podstatnými vlastnostmi objemová hmotnost a mechanická odolnost. Tyto parametry jsou závislé na použitém materiálu, obsahu vody, struktuře materiálu a na lisovací tlaku. Dřevní

brikety se dle ISO 17225-3 rozdělují do tří jakostních tříd A1, A2 a B. A1 a A2 jsou vyráběné výhradně z původního dřeva a chemicky neupravených zbytků dřeva. Rozdíl mezi třídami A1 a A2 spočívá především v povoleném obsahu popela a dusíku. U briket třídy B je povoleno vyrábět z chemicky upravených průmyslových zbytků dřeva a z chemicky neupraveného použitého dřeva. Pro hustotu materiálu brikety je předepsána hodnota $\rho > 1000 \text{ kg.m}^{-3}$. Zdáli jsou brikety kruhového tvaru, jejich průměr je rozmezí 20 až 120 mm a délka do 400 mm. (Malaťák, 2008), (Stupavský, 2014)

4.1.1 Velikost částic

Již v roce 1996 Grovel napsal, že optimální velikost částic je od 6-8 mm s obsahem 10 – 20 % prachových částic z celkové hmotnosti vstupního materiálu. Velikost prachových částic je menší než 4 mm. Pro tvorbu briket se používají částice až do velikosti 40 mm. Velikost částic souvisí s kvalitou briket. Vytvořené brikety z materiálů, které byly rozdrčeny na velikosti menší než 4 mm, měly vyšší mechanickou odolnost než velikost 40 mm. (Cadoche, et al., 1989)

4.1.2 Vlhkost materiálu

Vlhkost vstupního materiálu je nejdůležitější parametr při briketování. Tento parametr ovlivňuje kompaktnost brikety. Vysoká vlhkost způsobí rozdrolení výsledné brikety a stejný efekt způsobí i nízká vlhkost (pod 8 %). Společnost Briklis uvádí, že vhodná vlhkost pro jejich pístové lisy musí být v rozmezí od 10 do 15 %. Toto rozmezí se liší u různých typů lisů. Šroubové lisy mají rozmezí od 8 – 9 %. Při vlhkosti vyšší než 15 % ve výsledné briketě vznikají problémy při hoření. (Andert, 2006)

4.1.3 Měrná hmotnost

Měrná hmotnost je důležitým ukazatelem kvality výlisku z hlediska manipulace, pevnosti (doba hoření), objemové a tvarové stálosti (absorpce vzdušné vlhkosti). (Janíček, 2011)

Měrná hmotnost je závislá na tlaku vytvořeném v lisovací komoře, čím větší tlak, tím větší měrná hmotnost. Při zvýšení měrné hmotnosti briket vzroste i jejich výhřevnost. (Stupavský, 2010)

4.1.4 Mechanická odolnost

Mechanická odolnost nebo také odol, je důležitá vlastnost v případě skladování a dopravy. Udává množství materiálu odroleného při dopravě a manipulaci. Tato vlastnost se určuje pomocí bubnu, do kterého se vloží 4000g briket. Buben se poté začne otáčet při otáčkách 21 ot.min⁻¹ po dobu 5 min.

4.1.5 Výhřevnost

Výhřevnost je indikátor vlastnosti pro spalování. Výhřevnost znamená spalné teplo, zmenšené o výparné teplo vody, které vzniká z paliva během hoření. Spalné teplo se určuje pomocí kalorimetru. Výhřevnost pevných biopaliv je srovnatelná s hnědým uhlím. (Kers, 2010).

4.1.6 Obsah popela

Obsah popela udává, kolik hmoty zůstane po spálení určitého množství paliva. Popel by neměl přesáhnout 1,5 % hmotnosti nespálené hmoty. Pomocí analýzy popela lze určit obsah prvků. Problém nastává při velké koncentraci těžkých prvků (Ti, Pb, Cd). (Kotlárková, 2009).

Dřevní brikety – mechanicky velkým tlakem zpracovaný suchý dřevní prach, piliny nebo drť (8-12 % vody). Briketují se zpravidla do tvaru válečků, hranolů nebo šestistěnů, o průměru 40 až 100 mm, délky 300 mm a měrnou objemovou hmotností 1 až 1,4 kg.dm⁻³. Výhřevnost 16,5 až 18,5 MJ.kg⁻¹. Obsah popele v sušině 0,5 až 1,1 % a povolený obsah polutantů a ekologického pojiva určen normou. (Malaťák, 2008)

Brikety ze stébelnin – mechanicky velkým tlakem zpracované suché, drcené nebo nakrátko řezané stébelniny (sláma olejnin, obiloviny, traviny, a energetické byliny. Briketují se zpravidla do tvaru válečků, hranolů nebo šestistěnů, o průměru 40 až 100 mm, délky 300 mm a měrnou objemovou hmotností 1 až 1,2 kg.dm⁻³. Výhřevnost 16,5 až 17,5 MJ.kg⁻¹ (ze slámy olejnin až 19 MJ.kg⁻¹). Obsah popele v sušině 5 až 6 % a povolený obsah polutantů a ekologického pojiva je určen normou. (Malaták, 2008)

Papírové brikety – jsou velice kompaktní, pevné, s minimálním otřepem. Objemová hmotnost se pohybuje od 1 – 1,2 t.m³. Rozměry briket válcového tvaru z briketovacích lisů BrikStar jsou zpravidla o průměru 50 mm nebo 65 mm podle typu lisu a o délce 40 – 70 mm podle druhu a rozměru materiálu. Rozměry briket ve tvaru kvádru z briketovacího lisu BrikStar MAGNUM jsou zpravidla 135 x 65 mm a o délce 80 – 100 mm podle druhu materiálu a frakce. Výhřevnost papírových briket se pohybuje okolo 12 až 15 MJ/kg a obsah popela u kartonu je 5 %. Obsah popela závisí na druhu papíru. (Papírové brikety, 2009)

4.2 Výhody a nevýhody dřevěných briket

V této kapitole budou zaznamenány výhody a nevýhody dřevěných briket.

4.2.1 Výhody dřevěných briket

- zhutněním nadrceného materiálu se docílí výrazně nižších nákladů na přepravu briket, jelikož se nepřeváží takové množství vzduchu, který u volně sypaných materiálů představuje relativně velký objem úložného prostoru,
- balení briket podle požadavků zákazníků umožňuje zákazníkovi s výrobkem lépe manipulovat; jak ručně, tak i manipulačními prostředky,
- dřevěné brikety představují vydatné a ekologicky čisté palivo, vhodné pro domácí kotle a krby, tak i pro použití ve výrobních provozech,
- výhřevnost dřevních briket je srovnatelná s výhřevností hnědého uhlí,
- dřevo je v přírodních podmínkách obnovitelným zdrojem energie. Jeho spalováním vzniká CO₂ v množství, které bylo při růstu asimilačním procesem odebráno z ovzduší. Proto spalování dřeva nezvyšuje obsah CO₂ v ovzduší a nepřispívá k tvorbě tzv. skleníkového efektu,

- spalováním dřeva složeného výhradně z organických látek (hemicelulózy, celulóza, lignin) a malého množství anorganických látek se do ovzduší neuvolňují žádné látky v takovém množství, aby byly považovány za škodliviny,
- dřevo obsahuje méně než 1 % hmotnosti síry. V důsledku této skutečnosti splňují spaliny ze dřeva svým obsahem SO₂ nejpřísnější limity s ochranou ovzduší s velkou rezervou,
- obsah popela je hmotnostně téměř nevýznamný. Tvoří maximálně 1 % hmotnosti. Je vhodnou zúrodňovací přísadou a nemá toxické ani jiné nežádoucí účinky.

4.2.2 Nevýhody dřevěných briket

- základní nevýhodou procesu briketování jsou vysoké náklady při nákupu briketovací linky a nemalé energetické vstupy. Ty nutí výrobce nasadit cenu, která je vyšší, než cena energeticky srovnatelného hnědého uhlí,
- kvalita výchozího materiálu tzn. splnění požadavků na velikost výchozích částic nebo splnění požadavků na vlhkost materiálu,
- vyšší náklady na balicí linku pro vyrobené brikety. (Hrázský, 1999)

4.3 Výroba briket

Výroba dřevních briket se v České republice rozvíjí od počátku 90. let. V roce 2007 bylo v rámci statistiky MPO bilancováno přes 70 firem vyrábějící brikety. Kapacita výrobních linek činí přes 425 000 tun ročně. (Bufka, 2008)

Tabulka 4 – Základní bilance dřevních briket (tis.tun) (Bufka, 2020)

	Produkce	Dovoz	Vývoz	Dodávka na tuzemský trh po změně stavu
2006	111	3	82	32
2007	113	6	67	52
2008	96	8	69	35
2009	106	22	65	63
2010	120	27	62	85
2011	116	46	74	88
2012	120	38	60	58
2013	130	37	59	108
2014	142	43	43	142
2015	141	39	40	139
2016	152	42	49	150
2017	155	43	46	166
2018	135	45	40	141
2019	133	40	39	129

Zdroj: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/tuha-paliva/2020/4/Brikety_a_pelety_2020.pdf

Nezjištěná výroba a užití briket a pelet v malých výrobních a prodejních firmách nebo výroba pro vlastní spotřebu, může skutečně dosahovat několik tisíc tun. (Bufka, 2008)

4.4 Dovoz a vývoz briket a pelet

Databáze zahraničního obchodu Českého statistického úřadu poskytuje měsíční data o dovozech a vývozech komodit podle kombinované nomenklatury. Problémem stále zůstává to, že pro brikety a pelety není zavedena zvláštní položka; jsou tedy jen obtížně identifikovatelné. Proto se data celní statistiky odlišují od dat zjištěných šetřením MPO. U části vývozu je k dispozici informace o zemi určení a měsíci vývozu. Brikety a pelety jsou nejvíce vyváženy do Rakouska, Německa a roste vývoz do Itálie. (Bufka, 2008)

Tabulka 5 – Vývoz briket a pelet podle zemí (tuny; podle ČSÚ bez dopočtu) (Bufka, 2008)

Rakousko	45 530
Německo	42 018
Francie	365
Dánsko	1 719
Itálie	4 405
Ostatní	1 076
Celkem	95 113

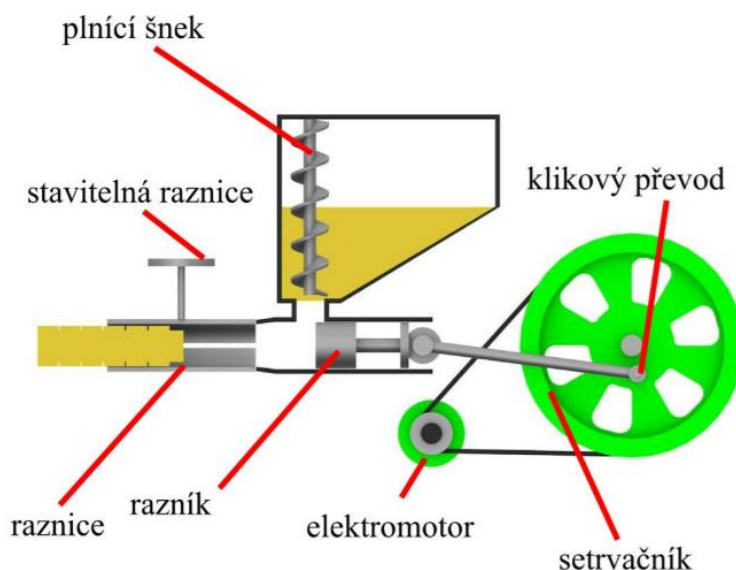
5 Zařízení používaná při briketování nekovových materiálů

K briketování nekovových materiálů je zapotřebí několika zařízení a strojů, ať už se to týká dezintegrace, sušení nebo samotného briketování nekovových materiálů.

5.1 Briketovací lisy

Z hlediska perspektivy rozvoje standardizovaných fytopaliv představují nejdůležitější stroje peletovací a briketovací lisy. Vytvářejí standardní formy fytopaliv, schopné dopravy na velké vzdálenosti, optimální pro skladování a pro automatické přikládání do kotlů a různých topenišť. Vyrábějí se s výkonností od 0,1 t/h pro menší dřevozpracující truhlářské výroby až po výkonnosti 5 t/h pro velké peletárny, navazující i na velké elektrárny a teplárny. Rozlišují se v podstatě tři systémy briketovacích lisů. (Andert, 2006)

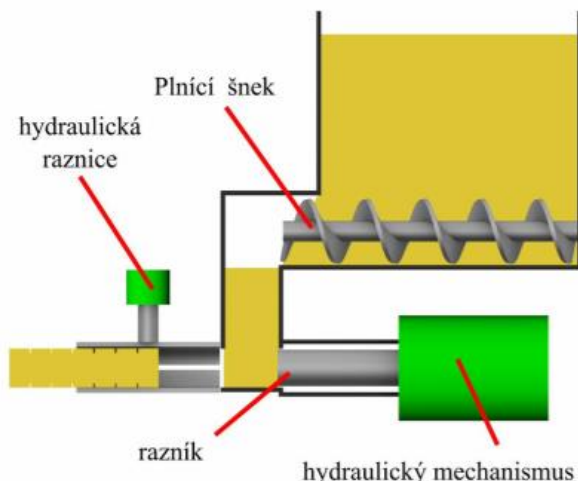
Obrázek 2 – Klikový briketovací lis (Kočař, 2017)



Zdroj: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_veřejne.php?file_id=151755

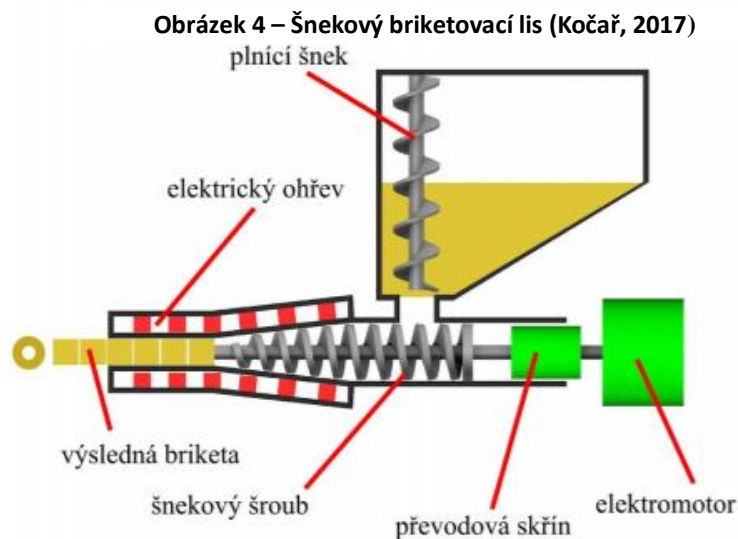
- **Mechanické pístové** – největší nároky jsou u tohoto lisu kladeny na velký výkon elektromotoru. Pracují na principu klikového mechanismu s mohutnými setrvačníky, které jsou poháněny řemenovým převodem. Vyznačují se především nejvyššími tlaky v lisovací komoře, kterou opouští nekonečně dlouhá briketa. Je přesně krácená za výstupem odřezávací pilou. Tlak na brikety lze regulovat pomocí stavitelné raznice za pístem, ta ulehčí nebo ztíží průchod výlisku. Výkonnost lisu bývá kolem 1 t/h; brikety mají nejčastěji válcový tvar, ale vyrábějí se i se šestihranné nebo v tvaru hranolu. Nejžádanějšími briketami jsou válcové brikety s vnitřní dírou. Lépe odhořívají díky většímu povrchu pro nahřívání a oksyličování. (Kočař, 2017), (Andert, 2006)

Obrázek 3 – Hydraulický briketovací lis (Kočař, 2017)



Zdroj: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_veřejne.php?file_id=151755

- **Hydraulické pístové** – pracují na principech Pascalova zákona s menšími tlaky než mechanické, jsou levnější a výkonnost nižší od 0,05 do 0,5 t/h. Mechanismus pracuje nejčastěji se dvěma písty. Materiál je do prvního válce vtlačen buď šnekovým podavačem, lopatkami poháněnými elektromotorem nebo gravitací. První píst (raznice) stlačuje materiál do tvaru brikety. Současně přitlačená hydraulická raznice zamezuje průchodu předchozí brikety a vytvoří se zde uzavřená lisovací komora. Nová briketa se opře o tu předchozí a tím vytvoří tlak, který briketu stlačí do finální podoby. Používají se zejména na briketování stébelnin nebo směsi stébelnin a pilin. Brikety vyrobené hydraulickými lisami mají menší soudržnost než z mechanických lisů a jejich užití je určeno v blízkosti výroby bez časté manipulace. (Kočař, 2017), (Andert, 2006)



Zdroj: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=151755

- **Šnekové** – u šnekových lisů se potřebný lisovací tlak vytváří otáčením lisovacího šneku v konické komoře. Šnekový šroub je mohutnější, aby odolal vznikajícím vysokým tlakům. Násyp je stejný jako u hydraulického lisu a elektromotor, který má snížené otáčky přes převodovou skříň, pohání šnekový šroub. Soudržnost briket je velmi dobrá, díky velkým tlakům a tření materiálu na šneku výrazně ohřívá ve dřevě obsažený lignin, který působí jako pojivo. Povrch briket je po vychladnutí pokryt utuhlým voskem podobným ligninu a je tak chráněn proti vlhkosti. Nevýhodou šnekových lisů je značné opotřebování lisovacích šneků a komor, pokud surovina obsahuje písek. Výhodou je, že kromě briket je možné po výměně výstupní matrice u některých typů vyrábět i pelety. (Kočař, 2017), (Andert, 2006)

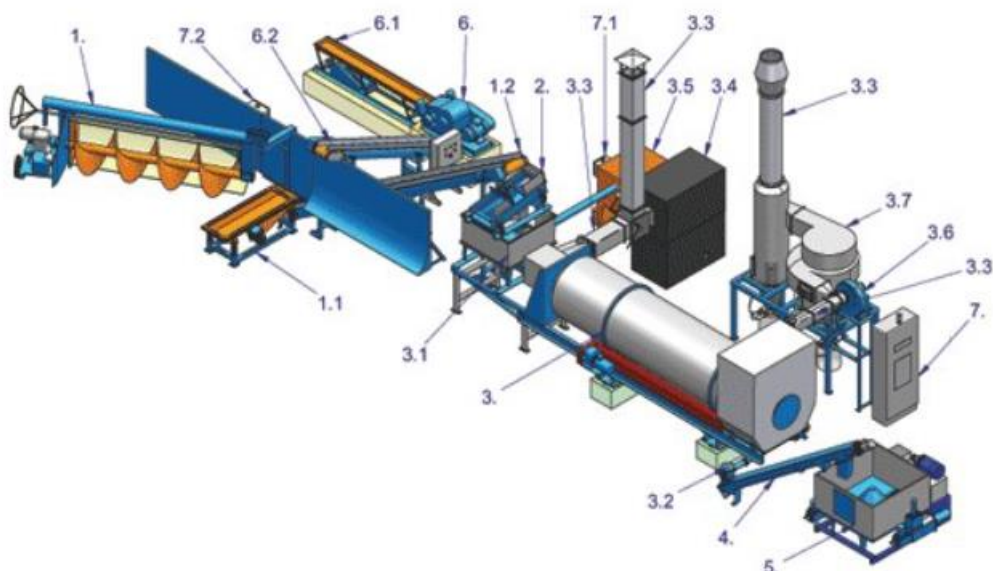
- **Válcové** – stlačují vstupní surovinu pomocí dvou rovnoběžných válců, kdy každý válec má po obvodu kovové raznice. V prostoru mezi válci se vytváří pomocí protiběžné rotace a zmenšováním prostoru raznice vysoký tlak při vzniku brikety. Tento lis se používá především na rozdrcené uhlí pro následné tvoření pevných uhelných briket. Velikost brikety a tlak lze regulovat pomocí hydraulického zvedáku a kyvného zavěšení druhého válce. (Kočař, 2017), (Andert, 2006)

5.1.1 Briketovací linky

Briketovací linky představují v této době, kdy je snaha a cíl zmenšování nákladů, snižování počtu zaměstnanců, zefektivňování výroby či bezúdržbové ovládaní zařízení, aktuální trend výroby briket. Jejich využití je tam, kde je zajištěno potřebné množství výchozí suroviny. V tomto případě se jedná zejména o dřevozpracující průmysl, zastoupený výhradně pilami a velkými truhlářskými dílnami, které mají při svém provozu dostatečný přísun materiálu v podobě pilin. Briketovací linky se zajisté uplatní i v oblasti zpracující zemědělský materiál jako jsou lihovary, pivovary, truhlárny či zemědělská družstva, zpracovávající produkty jako je sláma či seno. Jsou určeny pro střední a větší provozovny s vícesměnným provozem.

Jako příklad je uvedena briketovací linka firmy Briklis, BRISUR (obr. 5). Technologická linka se skládá ze sušárny včetně kotle pro její vytápění, jednoho nebo více briketovacích lisů a rotačního stojanu pro balení briket. Briketovací linky jsou rozděleny na 8 základních částí. (Briklis, briketovací linky)

Obrázek 5 – Briketovací linka BRISUR (Briklis, briketovací linky)



Zdroj: <https://www.briklis.sk/briketovacie-lisy-na-drevo/briketovacie-linky>

1. přihrnovací šnek 1.1 vibrační dopravník 1.2 pásový dopravník 2. vibrační třídič 3. sušárna
3.1 zásobník sušárny 3.2 vynášecí šnek 3.3 potrubí 3.4 kotel 3.5 zásobník paliva 3.6 ventilátor
3.7 cyklon 3.8 dopravník paliva 4. šnekový dopravník 5. briketovací lis 6. nožová sekačka 6.1
vibrační dopravník 6.2 pásový dopravník 7. elektrický rozvaděč hlavní 7.1 elektrický rozvaděč
kotle 7.2 elektrický rozvaděč materiálu (Briklis, briketovací linky)

- **Příprava suroviny** – Drtiče je nutné použít pro přípravu suroviny, jejíž rozměry jsou větší než povolená velikost 15 mm. Brikety nelze vyrábět jen ze samotného drceného materiálu bez přídavku pilin. Podíl pilin se doporučuje alespoň 50 %. Podle typu suroviny instalujeme vhodný drtič. Nožová sekačka se používá pro dlouhé kusy dřeva, kladivový šrotovník pro slámu nebo drtič s jedním pomaloběžným rotorem pro kusový odpad. Vždy by měl být drtič vybaven sítím s průměrem otvoru menším než 15 mm, aby surovina nepropadávala. Příkon drtiče závisí na hodinovém výkonu i na vlastnostech materiálu. Příkony drtičů se pohybují od 15 kW do 50 kW. Méně obvyklou součástí technologické linky je i separátor kovu. Jeho instalace se doporučuje v případě zpracování nakupované suroviny neznámého původu. (Briklis, 2011)

Obrázek 6 – Drtiče (Briklis, 2011)



Zdroj: <http://www.briklis.cz/susarny-linky/linky/>

- **Vstup suroviny** – Šnek přihruje z navezené hromady materiál do dopravníku, který zásobuje třídič před násypkou sušárny. Střed otáčení šneku je nad násypkou dopravníku a pohyb šneku po půlkruhu je řízen čidly pro snímání hladiny materiálu v násypkách dopravníku a sušárny. Obsluha má za úkol doplňovat materiál do vymezeného prostoru před přihrnovací šnek. Po vyprázdnění skládky lze šnek vrátit do původní polohy nebo ručně obrátit zástěnu šneku a používat jej v opačném směru. Vibrační třídič se sítí obsahuje kruhové otvory; používá se pro oddělení velkých kusů kůry nebo dřeva z pilin. Šikmo skloněné síto v ocelovém rámu je zavěšeno na pružinách. Vibrační motor sítem pohybuje, aby se materiál rozložil do tenké vrstvy. Velké nevhodné kusy pro sušení po sítu sklouznou do přistaveného kontejneru na vytríděný odpad. Drobný materiál propadne sítem do násypky sušárny nebo na další dopravník.

Pásové dopravníky se používají pro přepravu nevytríděného materiálu. Ten je dopravován šnekovými dopravníky. Jejich výhodou je především bezprašný provoz. (Briklis, 2011)

Obrázek 8 – Pásový dopravník a násypka (Briklis, briketovací linky)

Obrázek 7 – Šnekový dopravník (Briklis, briketovací linky)



Zdroj: <https://www.briklis.sk/briketovacie-lisy-na-drevo/briketovacie-linky>

- **Sušící buben** – bubnová sušárna BUS je soubor zařízení, který se skládá z bubnu sušárny, násypky a výsypky, kotle, cyklony, ventilátoru, propojovacího potrubí, elektronického rozvaděče s regulací sušárny.

Sušící buben je ocelový svařovaný jednoplášťový zaizolovaný válec, který je z čelní strany napojen na násypku sušárny a na přívod horkých spalin. Ze zadní strany je uzavřen výsypkou materiálu s vynášecími šneky. Průměr a délka jsou různé pro různé výkony. Výhodou jednoplášťové konstrukce je velká úspora elektrické energie díky tomu, že materiál je sušárnou dopravován pouze otáčením šikmo skloněného bubnu. Sušárna pracuje kontinuálně. Dávkování pilin do sušárny a přikládání paliva do kotle je regulováno řídicím systémem. Suché piliny jsou vynášeny ze sušárny šnekovým dopravníkem, který má funkci turniketu do zásobníku suchého materiálu briketovacího lisu. Sušárna pracuje ve velice úsporném energetickém režimu daném konstrukcí, jelikož je vytápěna spalinami z kotle pro spalování dřevěného odpadu. (Briklis, 2011)

Obrázek 9 – Sušárna (Briklis, 2011)



Zdroj: <http://www.briklis.cz/susarny-linky/linky/>

- **Kotelna** – Kotel spaluje dřevo na pevném roštu. Vysokou účinnost a kvalitu spalování zajišťuje tří komorová konstrukce s klenutou spalovací komorou. Kotel je vyzděný ze šamotových cihel. Optimální palivo je štěpka s délkou menší než 20 mm s vlhkostí do 30 %. Násypka může být doplňována automaticky šnekovým dopravníkem z násypky sušárny. Spaliny z kotle se ochlazují studeným vzduchem na teplotu 300 až 500°C a poté jsou do sušárny nasávány ventilátorem pro odtah páry. (Briklis, 2011)

Obrázek 10 – Kotel (Briklis, briketovací linky)



Zdroj: <https://www.briklis.sk/briketovacie-lisy-na-drevo/briketovacie-linky>

- **Vzduchotechnika** – na konci vzduchotechnického potrubí je umístěn odtahový ventilátor, který dopravuje páru ze sušárny do komína. V celé sušárně je mírný podtlak, který zabraňuje úniku zplodin z technologie do prostoru obsluhy. Sušící vzduch vynáší ze sušárny jemný dřevěný prach. Ten je poté odloučen ve dvoustupňovém cyklonu. (Briklis, 2011)

Obrázek 11 – Cyklon (Briklis, 2011)



Zdroj: <http://www.briklis.cz/susarny-linky/linky/>

- **Výstup suroviny** – pro dopravu usušeného materiálu do násypky briketovacích lisů se používají šnekové dopravníky. Jednotlivé briketovací lisy jsou připojeny k dopravníku potrubím. Systém dopravníku je navržen tak, aby poskytoval možnost vypouštění přebytečného materiálu do kontejneru.

- **Řízení a regulace** – řízení vlhkosti sušeného materiálu je nepřímé; neměří se výstupní vlhkost materiálu. Vlhkost se reguluje dávkováním suroviny do sušárny, aby se teplota odcházející páry udržovala na konstantní hodnotě nastavené obsluhou.
- **Briketování** – briketovací lisy se instalují v počtu dle požadovaného výkonu linky. Materiál je dopravován do násypky lisu kontinuálně šnekovými dopravníky ze sušárny pilin. (Briklis, 2011)

Obrázek 12 – Lis (Briklis, 2011)



Zdroj: <http://www.briklis.cz/susarny-linky/linky/>

5.2 Sušárny

Sušárny napomáhají snižovat podíl vlhkosti materiálu za pomoci přívodu tepla.

5.2.1 Sušárny pilin BUS

Jsou vyráběny a ověřeny v praxi už téměř 26 let společností BRIKLIS. Jsou určeny pro střední a větší pily s vícesměnným provozem. Mokrý piliny jsou tříděny vibračním sítím umístěným nad zásobníkem vlhkého materiálu. Hrubé kusy z třídiče vypadávají do kontejneru a mohou být ručně přiloženy do kotle. Bubnová sušárna je vytápěná spaliny z kotle na automatizované spalování dřevěného odpadu. Dávkování pilin do sušárny je regulováno řídicím systémem, aby se výstupní teplota páry udržovala na konstantní hodnotě. Řídicí systém rovněž reguluje přikládání paliva do kotle a spaliny se míchají se studeným vzduchem na teplotu 300 až 500 °C. Poté jsou do sušárny nasávány ventilátorem. Ventilátor se nachází za sušárnou a cyklonem pro odlučování prachu. Suché piliny hrne ze sušárny šnekový dopravník, jenž je dopravován k dalšímu zpracování a plní funkci turniketu. (Brikliis, 2015)

Obrázek 13 – Bubnová sušárna pilin (Brikliis, 2015)



Zdroj: <http://www.brikliis.cz/susarny-linky/susarny-pilin/>

5.2.2 Sušárna štěpky SUS

Zařízení určené pro sušení sypkého materiálu zahrnuje sušící žlab se čtyřmi transportními šneky pro posouvání materiálu. Do žlabu je přiváděn sušící vzduch s regulovanou teplotou, který pomalou rychlostí prochází vrstvou sušeného materiálu. Zdrojem tepla může být odpadní teplo ze zdrojů pro alternativní výrobu elektrické energie jak ve formě teplé vody, tak i výfukových plynů generátoru. Je možné využít také samostatné teplovzdušné agregáty pro vytápění této sušárny. Sušárna obsahuje násypku, ze které je sušený materiál postupně odebírán v nastavitelné vrstvě a velmi pomalu postupuje sušárnou k výpadu. Doba zdržení materiálu v sušárně trvá v řádu hodin. Konstrukce sušárny umožňuje zvětšení výkonu zapojením jednotlivých modulů do kaskády a tím několikanásobně zvýšit výkon. (Briklis, spol. s r.o., 2015)

Obrázek 14 – Sušárna štěpky (Briklis, spol. s r. o., 2015)



Zdroj: <http://www.briklis.cz/susarny-linky/>

5.3 Zařízení pro dezintegraci materiálu

V praxi jsou pro dezintegraci rostlinné biomasy v podobě dřevin nejčastěji používány štěpkovače a drtiče. Při dezintegraci rostlinných surovin v podobě bylin jsou nejčastěji používaným zařízením řezačky. Při dezintegraci na malé částice jsou nejčastěji používány drtiče nebo speciální štěpkovače. Těmto zařízením říkáme dodrcovače. (Souček, 2008)

5.3.1 Štěpkovače

Jsou používány výhradně k dezintegraci rostlinné biomasy na bázi dřevin. Dezintegrace je nutnou součástí většiny technologických postupů zpracování dřeva. Typickým příkladem je výroba dřevní štěpky jako paliva, součásti kompostovací zakládky nebo při výrobě stavebních desek. Obsah sušiny v dřevnaté biomase je v průběhu sklizně nízký (přibližně 50 %). Z toho důvodu je začlenění dezintegrace do sklizňových postupů výhodné z hlediska energetického, logistického i technického. (Souček, 2008)

V ČR jsou nejoblíbenější a nejpoužívanější mobilní nesamojízdné štěpkovače integrované k energetickému prostředku; nejčastěji traktoru nebo nosiči nářadí odpovídající výkonové třídy. Mohou být vybaveny i vlastním energetickým zdrojem, kterým je spalovací motor nebo elektromotor. Spalovací motor je vhodný pro práci v terénu. Nesamojízdné mobilní štěpkovače jsou konstrukčně řešeny jako přívěsné, návěsné nebo nesené. Možný je také způsob, kdy má štěpkovač formu kontejnerové nástavby. Dalším způsobem začlenění štěpkovačů do postupu sklizně je jejich využití jako samostatných sklízecích strojů. Sklízecí štěpkovače jsou řešeny jako upravené sklízecí rezačky vybavené adaptérem nebo jako harvestory, vyvážecí soupravy, které mají štěpkovací zařízení. Stacionární štěpkovače jsou využívány při štěpkování většího množství surovin. Mají vlastní pohon a výkon energetického zdroje se pohybuje od 10 do 100 kW.

Velikost naštěpkovaných částic, je od 8 mm do 200 mm. Energie spotřebovaná na štěpkování závisí výrazně na stupni dezintegrace, fyzikálních vlastnostech materiálu (obsah vody, hustota atd.) a typu štěpkovače. Pohybuje se obvykle na úrovni 20-75 kWh.t⁻¹. (Souček, 2008)

Obrázek 15 – Štěpkovač Pezzolato 110 mb (Souček, 2008)

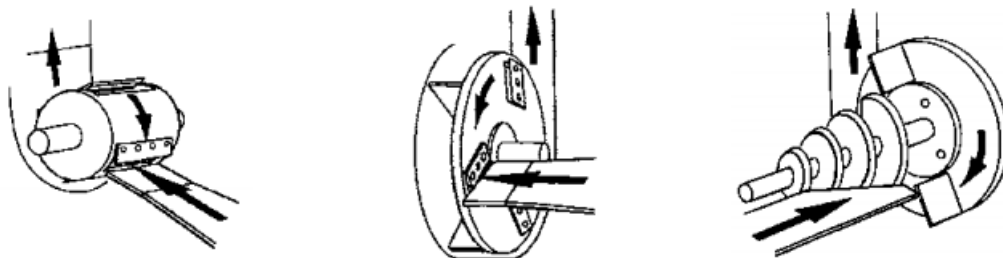


Podle štěpkovacího ústrojí můžeme štěpkovače rozdělit na:

- kolové,
- bubnové,
- šnekové,
- diskové.

Výhodou většiny štěpkovačů je nastavitelnost velikost; výstupních částic, která je stejnosměrná a obvykle s převažujícím podílem delších částic. Nevýhodou štěpkovačů je vysoká citlivost na cizorodé předměty. (Souček, 2008)

Obrázek 16 – Nejčastěji používané systémy štěpkování (zleva: bubnové, kolové, šnekové) (Souček, 2008)



5.3.2 Drtiče

Drtiče jsou při sklizni dřevní biomasy používány tehdy, kdy nejsou kladeny přísné požadavky na velikost výstupních částic. Při činnosti drtičů dochází ke kombinaci několika druhů namáhání. Dle druhu drticího zařízení převládá při drcení lom, nárazy a roztírání. Pro sklizeň se používají mobilní nesamojízdné formy drtičů, které jsou osazeny vlastním motorem. Mohou být návěsné nebo přívěsné a spotřeba energie je vyšší než u štěpkovačů. (Souček, 2008)

Obrázek 17 – Mobilní drtič ve formě návěsu (Souček, 2008)

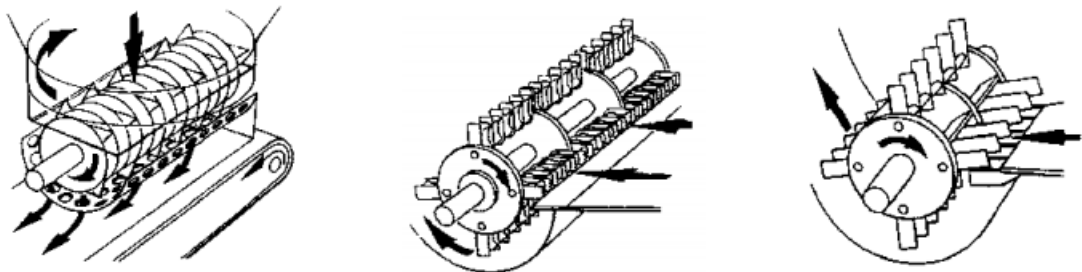


Při sklizni dřevnaté biomasy je možné využít drtící ústrojí

- kladivové,
- válcové,
- šnekové,
- nožové, segmentové,
- šredry.

Drtiče jsou v porovnání se štěpkovači méně náchylné na poškození pracovního ústrojí vlivem cizorodých předmětů. Mají větší spotřebu energie a nerovnoměrnost velikosti výstupních částic. (Souček, 2008)

Obrázek 18 – Nejčastěji používané systémy drcení (Souček, 2008)



6 Stanovení a posouzení vlastností briket vyrobených z vybraných nekovových materiálů

Využívání briket především z dřevní biomasy pro spalování je v ČR již dobře rozvinuto. Ve vyspělých státech světa je dokonce podporováno různou formou dotací nebo daňovými úlevami.

6.1 Cíl práce

Hlavním cílem práce je získání všeobecných informací o tématu briketování a na základě provedeného experimentu posoudit mechanicko-fyzikální vlastnosti vyrobených briket. Pro testování byly použity klasické materiály pro výrobu briket jako dřevní hobliny, dřevní piliny, dřevní štěpky a skartovací papír. Zhotovené brikety byly podrobeny mechanické zkoušce odolnosti. Následně byla vypočtena jejich měrná hmotnost. Získané

hodnoty byly statisticky vyhodnoceny a zhodnoceny. V posledním kroku byla tematika briketování doplněna o technicko-ekonomické zhodnocení, které vychází z reálných podkladů a může být využito pro zavedení briketovacích lisů do provozů.

6.2 Metodika práce

Hlavním podkladem pro vytvoření literární rešerše byly vědecké články, publikace a normy. V práci byly zkoušeny vlastnosti vyrobených briket pro zjištění hustoty a mechanických hodnot, které se používají především k přepravě a spalování briket. K výrobě briket byly použity briketovací lisy firmy BRIKLIS – BrikStar 30 - 12 a BrikStar EK 20. Brikety byly vyrobeny ve dvou různých průměrech a to 52 a 65 mm. Z každého materiálu bylo vyrobeno přibližně 150 briket ve dvojím průměru. Z nichž bylo následně 65 změřeno a statisticky vyhodnoceno. Pro zkoušku odolnosti v bubnu byly použity 3 navážky o cca 2 kg briket, která se používá pro zjišťování mechanické odolnosti.

6.2.1 Použité materiály

Všechny použité materiály byly sklizeny v České republice s pomocí vedoucího diplomové práce z katedry materiálu a strojírenské technologie na České zemědělské univerzitě. K diplomové práci byly použity čtyři druhy materiálu:

- dubové a smrkové hobliny z truhlářské výroby,
- komunální odpad – skart,
- ořezy ze stromů habru.

Tabulka 6 – Seznam použitých materiálů

Typ materiálu	Vzorek
Odpadní biomasa z truhlářské výroby	Hobliny smrk č. 1 Hobliny smrk č. 2 Hobliny dub č. 1 Hobliny dub č. 2
Odpadní biomasa z údržby	Štěpka – habr Štěpka - habr
Komunální odpad	Skart – sešity studentů Skart – sešity studentů

6.2.2 Briketování materiálů

V této práci byly k briketování použity hydraulické lisy firmy BRIKLIS – BrikStar EK 20 a Brikstar 30–12. Briketovací lis Brikstar EK je schopný briketovat materiál s vlhkostí 8 až 12 %, a sypanou hmotností minimálně 70 kg/m³. Teoretická výkonnost je 10 až 30 kg briket/hod a velikost lisovací komory je 62 mm. Výsledné brikety mají tvar válce o délce 20 až 30 mm s výhřevností 15 – 18 MJ/kg. (Briklis, 2015)

Obrázek 19 – BrikStar EK 20 (Briklis, 2015)



Zdroj: <http://www.briklis.cz/briketovaci-lis/brikstarek/>

Technické parametry: (Briklis, 2015)

- | | |
|--|--------------------------------|
| ➤ povolená vlhkost vstupního materiálu - | 8-12 hm. % |
| ➤ měrná hmotnost vylisované brikety - | 700 – 1 100 kg.m ⁻³ |
| ➤ maximální lisovací tlak - | 180 bar (18 MPa) |
| ➤ maximální provozní teplota - | 60 °C |
| ➤ pracovní prostředí stroje - | +5 až +35 °C |

Briketovací lis BrikStar 30-12 se od lisu Brikstar EK 20 liší hned v několika technických parametrech. Jedním z nich je průměr lisovací komory. Průměr lisovací komory tohoto lisu je 50 mm a délka briket 30 až 50 mm s výhřevností 15- 18 MJ/kg. BrikStar 30-12 je schopný briketovat materiál s vlhkostí 8-15 % a teoretická výkonnost je 20 – 40 kg briket/hod. (Briklis, spol. s r.o., 2015)

Obrázek 20 – BrikStar 30-12 (Briklis, spol. s r.o. 2015)



Zdroj: <http://www.briklis.cz/briketovaci-lis/30-50-70/>

Technické parametry: (Briklis, spol. s r.o., 2015)

- | | |
|--|--------------------------------|
| ➤ povolená vlhkost vstupního materiálu - | 8-15 hm. % |
| ➤ měrná hmotnost vylisované brikety - | 900 – 1 100 kg.m ⁻³ |
| ➤ maximální lisovací tlak - | 180 bar (18 MPa) |
| ➤ maximální provozní teplota - | 60 °C |
| ➤ pracovní prostředí stroje - | +5 až +35 °C |

6.2.3 Testování vyrobených briket a zjištění jejich mechanické odolnosti

Vyrobené brikety byly změřeny pomocí posuvného měřítka, kdy měřenými rozměry byla výška h a průměr d. Dalším měřeným parametrem byla hmotnost m, která byla zjištěna pomocí vah. Tyto parametry byly potřebné pro následné zjištění měrné hmotnosti. Zkouška mechanické odolnosti briket byla provedena pomocí zařízení zkonstruovaném podle normy ČSN EN 15210-2 (83 8221). Jedná se o kovový buben o průměru 598 mm, který je osazen jednou přepážkou o délce 200 mm. Buben se uvede do otáčivého pohybu. Otáčením se

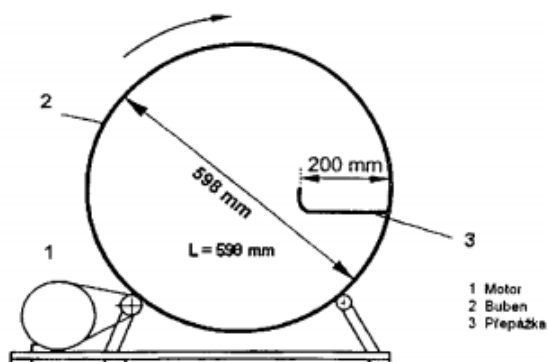
začnou brikety pohybovat a dojde k jejich narážení o stěny bubnu i o narážení briket navzájem. Přepážka plní úkol vynést brikety do výšky, ze které spadnou až vlivem gravitace. Výsledkem jsou z části zdeformované brikety. Pomocí výpočtu (3) se poté zjistí mechanická odolnost vyrobených briket DU.

Dle normy ČSN EN 14961-1 tuhá biopaliva, mají brikety tři pásma mechanické odolnosti.

Tabulka 7 – Pásma mechanické odolnosti

DU	(%)
95.0	≥ 95
90.0	≥ 90
90.0-	< 90

Obrázek 21 – Buben (Kolářová 2011)



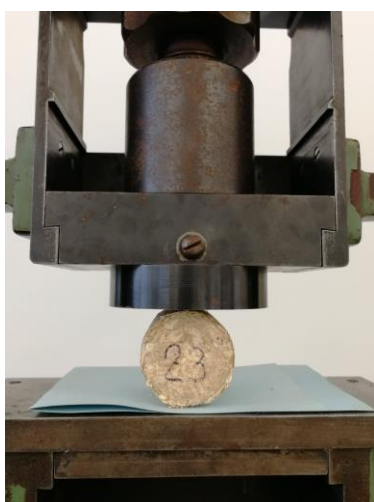
Postup měření mechanické odolnosti:

- Do ocelového bubnu se vloží 4 kg očištěných briket,
- Buben se uzavře a zajistí poklopem,
- Poté se buben uvede do provozu a ponechá otáčet po dobu 5 minuty při 21 ot.min⁻¹ a nebo do počtu 105 rotací,
- Po uplynutí 5 minut následuje mechanické vyjmutí briket z bubnu,
- Zvážení vyjmutých briket,
- Vyjmutí zbylého odrolu z bubnu.

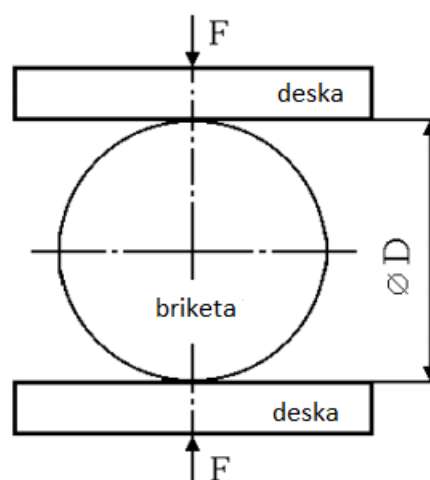
6.2.4 Zkouška lomové síly

Po naměření všech parametrů jako jsou průměr, výška a hmotnost, následovala zkouška na zkušebním univerzálním stroji pro zkoušení tahem. Brikety se umístí mezi desky a postupně se zatěžují. Test je ukončen po prasknutí brikety, které je doprovázeno rychlým poklesem zátěže. Potřebné síly k prasknutí brikety byly zaznamenávány a dále statisticky vyhodnoceny pomocí velikosti síly na jednotku výšky brikety. Celkem bylo zkoušeno 65 briket. (Nováková, 2011)

Obrázek 22 – Testovaný materiál
habr (Nováková, 2011)



Obrázek 23 – Princip zkoušky prasknutí
(Nováková, 2011)



6.2.5 Statistické vyhodnocení

Pro statistické vyhodnocení byl použit výpočet měrné hmotnosti, mechanické odolnosti a Gaussovo rozložení.

➤ Vyhodnocení měrné hmotnosti

Pro vyhodnocení měrné hmotnosti briket byly použity vzorce pro výpočet objemu V (m^3) a měrné hmotnosti ρ (kg/m^3).

Objem byl vypočten ze vzorce:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \quad (\text{m}^3) \quad (1)$$

d průměr brikety (m)

π matematická konstanta

h výška brikety (m)

Měrná hmotnost byla vypočtena ze vzorce:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (2)$$

m hmotnost brikety (kg)

V objem brikety (m^3)

Výpočet mechanické odolnosti DU:

$$DU = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (\%) \quad (3)$$

m1 počáteční hmotnost briket (g)

m2 hmotnost briket po zkoušce (g)

Výpočet průměrné měrné hmotnosti vyrobených briket:

Jedním z hlavních parametrů při výrobě briket je jejich měrná hmotnost. Pro odlišení a standardizování měrných hmotností je možné použít českou normu ČSN EN 14961-1 (83 8202). Tato norma vychází z evropské verze EN 14961-1:2010. V tab. 7 jsou zaznamenána pásma měrných hmotností, podle kterých lze zařadit dle této normy vyrobené brikety. Pro lepší přehlednost jsou jednotlivá pásma DE přepočtená na kg/m^3 . (Kolářová 2011)

Tabulka 8 – Pásma měrných hmotností (Kolářová 2011)

DE0.8	≥ 800
DE0.9	≥ 900
DE1.0	≥ 1000
DE1.1	≥ 1100
DE1.2	≥ 1200
DE1.2+	> 1200

Výsledné hodnoty měrné hmotnosti jsou statisticky vypočteny pomocí programu MS Excel vzorcem:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

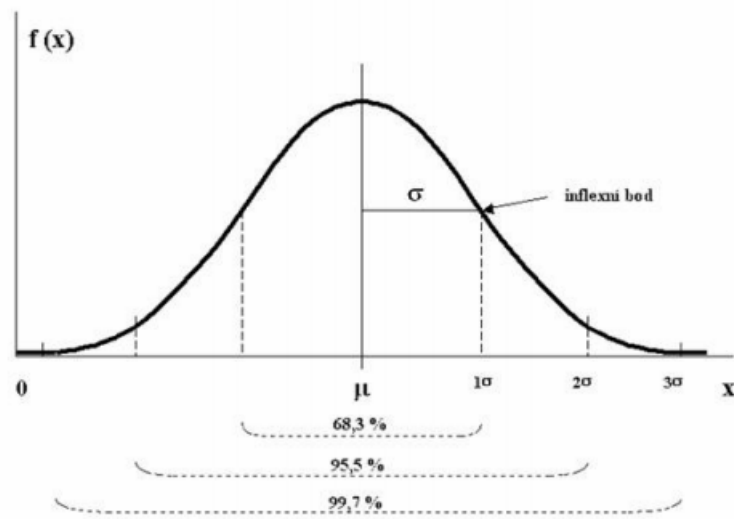
Pro další výpočet byl použit vzorec směrodatné odchylky k zjištění odchylek od průměru hodnot:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

Pro soubor naměřených hodnot bylo použito normálního (Gaussova) rozložení. Gaussovo rozložení představuje, jak se projevuje kolísání kolem střední hodnoty, přičemž výskyt chybových dat je minimalizován a výskyt extrémních hodnot je jen ojedinělý. Pro Gaussovo rozložení byl použit vzorec:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

Obrázek 24 – Gaussovo (normální) rozložení (Statistika a výpočetní technika)



X = spojitá náhodná veličina

$f(x)$ = hustota pravděpodobnosti náhodné veličiny X

μ = střední hodnota náhodné veličiny X

σ = směrodatná odchylka náhodné veličiny X

Zdroj: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn2/rozdelZS.htm>

Důležitou roli u Gaussova (normálního) rozložení hraje směrodatná odchylka. Určuje, jak velký je výsledný záběr hodnot. Pokud máme rozložení, které je normální a má odchylku σ , pak musí platit, že se hodnoty liší od průměru o jednu směrodatnou odchylku, tedy o 68,3 % hodnot, které se nachází v intervalu $\langle \mu - \sigma, \mu + \sigma \rangle$. Pokud se hodnoty liší od průměru o dvě směrodatné odchylky, tak pak přibližně 95,5 % hodnot leží v intervalu $\langle \mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma \rangle$ a 99,7 % hodnot leží v intervalu $\langle \mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma \rangle$, při odlišení o tři směrodatné odchylky. (Statistika a výpočetní technika)

6.3 Výsledky experimentů

V následných podkapitolách jsou definovány použité materiály k výrobě briket a uvedeny výsledky experimentů. Byly vyrobeny brikety o dvou průměrech 50 a 62 mm, a následně porovnány jejich výsledné hodnoty. Z technických parametrů briketovacích lisů plyne, že brikety byly vyráběny použitím stejné síly a stejného materiálu (pro oba průměry). Jedinou proměnou byl průměr brikety. Z fyzikálního zákona vyplývá, že při působení stejné síly na menší plochu pístu, je výsledný tlak vyšší, než při působení stejné síly na větší plochu.

6.3.1 Smrk - hobliny

Prvním zkoušeným materiálem byly smrkové hobliny. Hobliny byly získány z rodinné truhlářské dílny. Velikost částic se pohybují kolem 10 mm. Občas se v příměsi mohou objevit zbytky kůry nebo kousky dřeva. Hobliny z truhlářské výroby mají obsah vody maximálně do 15 %. Objemová hmotnost se pohybuje okolo 70 kg/m³.

Obrázek 26 – Smrkové hobliny



Obrázek 25 – Briketa ze smrkových hoblin



Tabulka 9 – Brikety ze smrkových hoblin

Průměr briket (mm)	Vlhkost (%)	Průměrná měrná hmotnost (kg/m ³)	Směrodatná odchylka	DU (%)
52	12,2 ± 0,2	836,2 ± 0,4	51,9 ± 0,1	93,5 ± 0,5
65	10,0 ± 0,3	678,1 ± 0,2	34,3 ± 0,5	83,5 ± 1,4

Z hodnot z tabulky vyplývá, že brikety o průměru 65 mm mají horší mechanickou odolnost DU i průměrnou hustotou. Odolnost v bubnu DU vykazuje jedny z nejhorších naměřených hodnot ze všech zkoušených materiálů, a to především u průměru 65 mm.

6.3.2 Dub hobliny

Dřevní dubové hobliny byli získány stejně jako u předchozího materiálu v rodinné truhlářské dílně. Velikost částic se pohybují okolo 5 mm. Dubové dřevo bylo sušeno v sušárně na hodnotu okolo 12 % obsahu vody.

Obrázek 28 – Dubové hobliny



Obrázek 27 – Briketa z dubových hoblin



Tabulka 10 – Brikety z dubových hoblin

Průměr briket (mm)	Vlhkost (%)	Průměrná měrná hmotnost (kg/m ³)	Směrodatná odchylka	DU (%)
52	9,6 ± 0,1	944,3 ± 0,6	37,2 ± 0,2	96,9 ± 0,5
65	9,1 ± 0,6	699,6 ± 0,4	22,7 ± 0,8	83,4 ± 1,6

Brikety z dubových hoblin mají lepší mechanické vlastnosti, než smrkové hobliny. Brikety o průměru 52 mm dosahují podle normy ČSN EN 14961-1 hodnoty DU 95,0, což je nejvyšší možné ohodnocení u mechanické odolnosti. Výrazný rozdíl byl naměřen i u vlhkosti, kdy dubové brikety mají menší vlhkost než brikety smrkové a to o 2,6 %.

6.3.3 Habr - štěpka

Surovina byla získána od pana prof. Ing. Milanova Brožka, CSc. z vlastních zdrojů. Větve habru byly prohnány velkým drtičem. Dále byl použit menší šrotovník, pro zajištění menších částic. Velikost částic se pohybují okolo 15 mm.

Obrázek 30 – Štěpka habru



Obrázek 29 – Briketa ze štěpky habru



Tabulka 11 – Brikety ze štěpky habru

Průměr briket (mm)	Vlhkost (%)	Průměrná měrná hmotnost (kg/m ³)	Směrodatná odchylka	DU (%)
52	9,5 ± 0,2	876,2 ± 0,4	32,5 ± 0,2	95,5 ± 0,5
65	12,5 ± 0,0	653,0 ± 0,1	12,3 ± 0,4	71,3 ± 0,7

U briket vyrobených ze štěpky habru, byla naměřena vlhkost 12,5 %, což je vůbec největší vlhkost u všech naměřených materiálů. Brikety o průměru 52 mm také dosahují nejvyššího možného ohodnocení mechanické odolnosti podle normy ČSN EN 14961-1 hodnoty DU 95.0.

6.3.4 Kancelářský papír - skart

Poslední surovinou, která byla použita pro briketování byl skartovaný kancelářský papír, který byl získán stejně jako u předchozí suroviny od pana prof. Ing. Milana Brožka, CSc. Pro skartování byly použity sešity studentů. Po dezintegraci mají částice velikost 4x18 mm.

Obrázek 31 – Skartovaný papír



Obrázek 32 – Briketa ze skartovaného papíru



Tabulka 12 – Brikety ze skartovaného papíru

Průměr briket (mm)	Vlhkost (%)	Průměrná měrná hmotnost (kg/m ³)	Směrodatná odchylka	DU (%)
52	7,4 ± 0,3	1203,6 ± 0,3	52,5 ± 0,5	99,5 ± 0,0
65	6,6 ± 0,2	1085,4 ± 0,7	30,1 ± 0,7	99,3 ± 0,1

Naměřené hodnoty vyrobených briket ze skartovaného papíru byly ze všech testovaných materiálů nejlepší. Mechanická odolnost v bubnu dosahuje téměř 100 %. Nejvyšší průměrná hustota byla naměřena u průměru briket 52 mm. Z výsledných hodnot je očividné, že nejlepší materiál pro briketování ze všech testovacích materiálů, je skartovaný papír.

6.4 Statistické vyhodnocení briket o průměru 52 mm

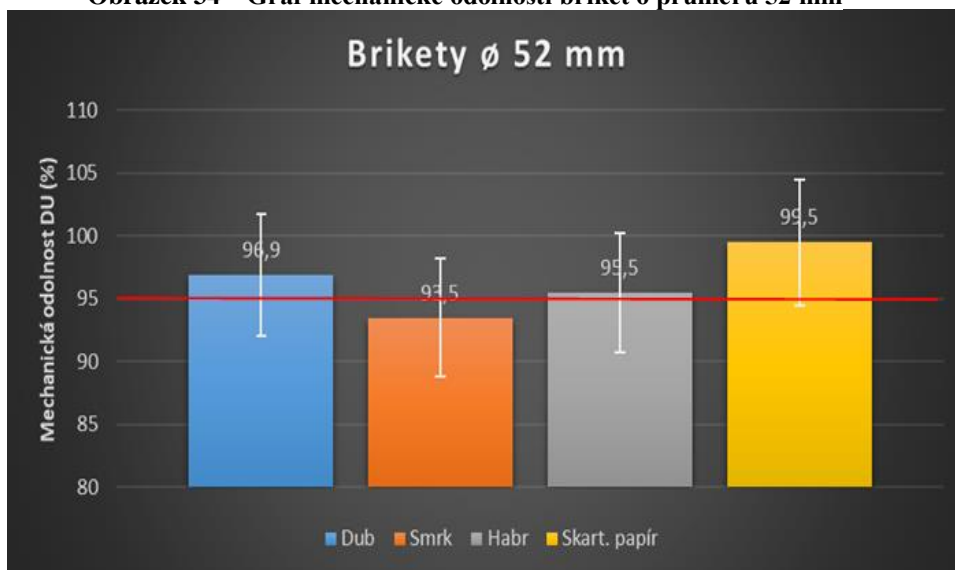
V této kapitole jsou statisticky vyhodnoceny brikety o průměru 52 mm. Na obrázku níže jsou v grafu znázorněny hodnoty měrné hmotnosti vyrobených briket o průměru 52 mm.

Obrázek 33 – Graf měrné hmotnosti briket o průměru 52 mm



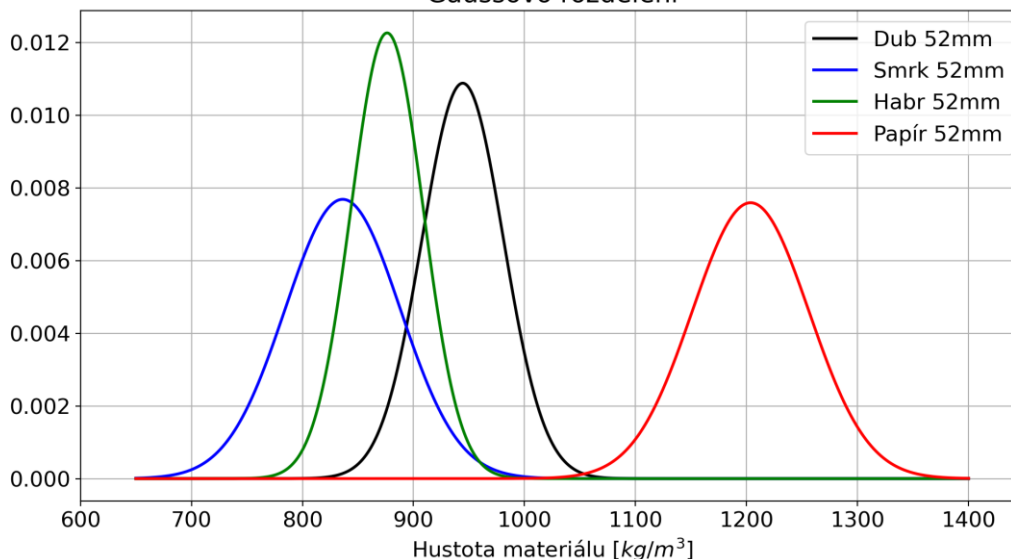
Z grafu je viditelné, že nejvyšší naměřená měrná hmotnost byla u briket ze skartovaného papíru, který se jako jediný z materiálů dostal přes hodnotu 1000 kg/m³. Naopak nejnižší hodnotu zaznamenaly smrkové hoblíny.

Obrázek 34 – Graf mechanické odolnosti briket o průměru 52 mm

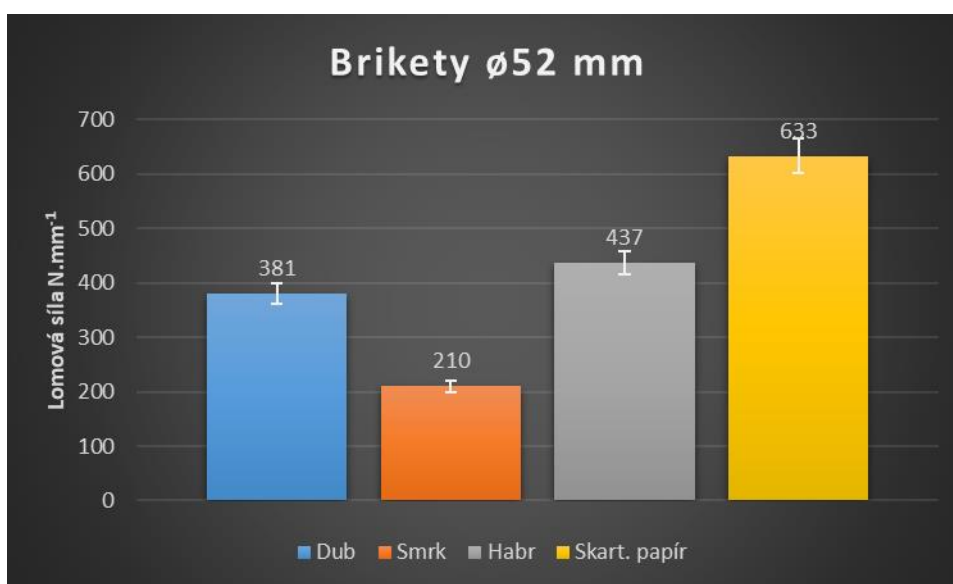


Červená úsečka znázorňuje nejvyšší klasifikaci mechanické odolnosti. Nejlepších výsledků dosáhl skartovaný papír. Nejhoršího výsledku dosáhly smrkové hobliny. Celkem 3 materiály ze 4 dosáhly nejvyššího ohodnocení mechanické odolnosti v bubnu DU.

Obrázek 35 – Graf Gaussovo rozdělení briket o průměru 52 mm
Gaussovo rozdělení



Obrázek 36 – Graf výsledků lomové zkoušky

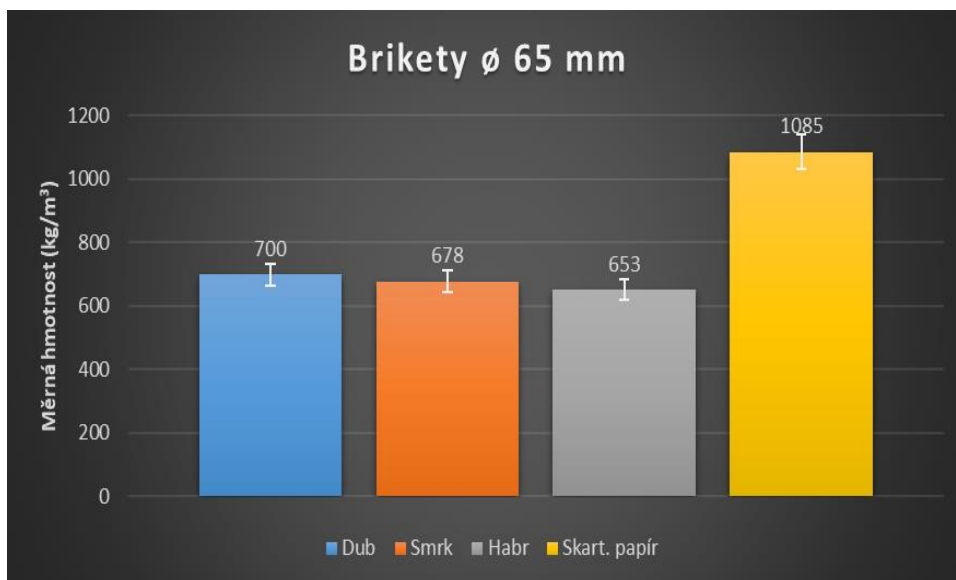


Z výsledků vyobrazených na obr. 36 je zřejmé, že největší lomová síla briket vyšla u skartovaného papíru a pohybuje se okolo 632 N.mm⁻¹. Nejhoršího výsledku dosáhl smrk, u kterého byly naměřeny hodnoty pouze 210 N.mm⁻¹. Celkově lze ale říci, že brikety o průměru 52 mm měly několika násobně lepší výsledky, než brikety o průměru 65 mm.

6.5 Statistické vyhodnocení briket o průměru 65 mm

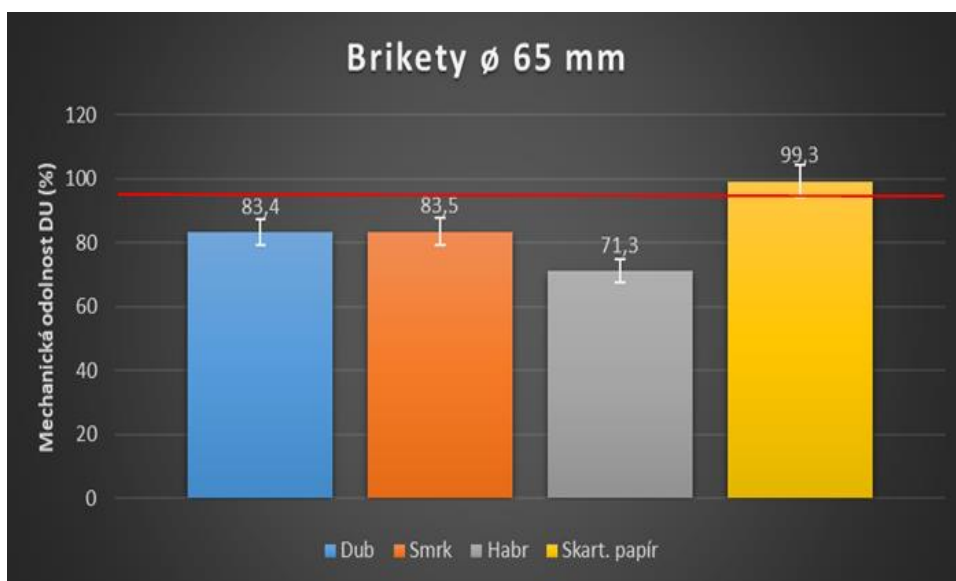
Brikety o průměru 65 mm dosahují horších parametrů oproti briketám o průměru 52 mm. Na obrázku níže jsou v grafu znázorněny hodnoty měrné hmotnosti vyrobených briket o průměru 65 mm.

Obrázek 37 – Graf měrné hmotnosti briket o průměru 65 mm



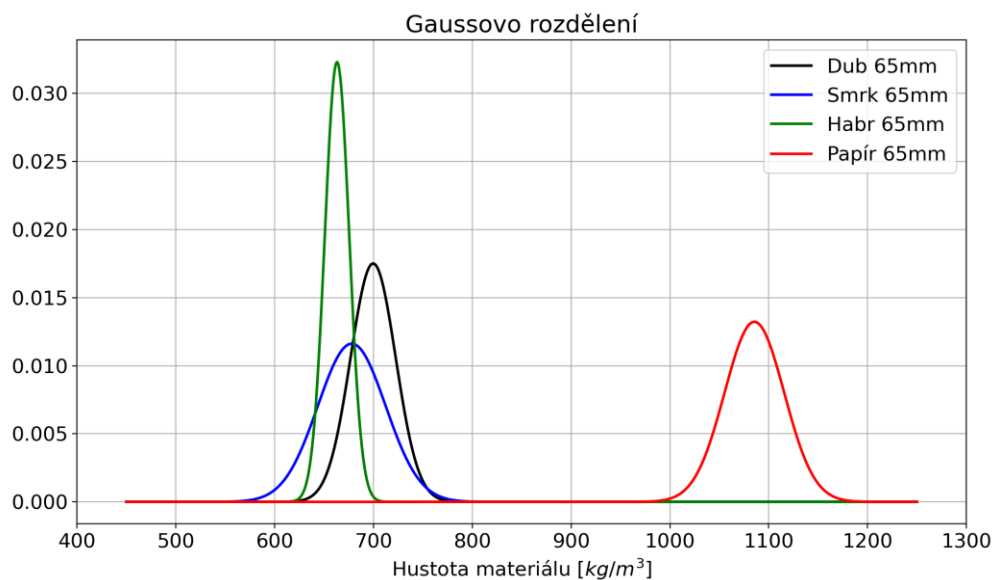
Nejhoršího výsledku měrné hustoty dosáhly brikety ze smrkových hoblin, naopak nejlepší výsledky získaly brikety ze skartovaného papíru. Nejhoršího výsledek zaznamenal habr, jelikož brikety jsou vyrobeny z největších částic 15 mm.

Obrázek 38 – Graf mechanické odolnosti briket o průměru 65 mm

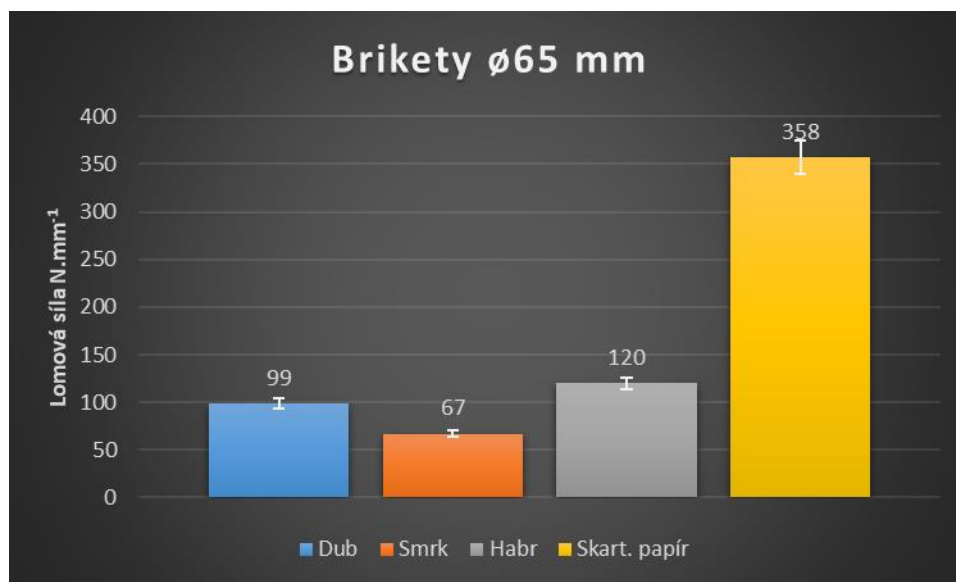


Červená úsečka znázorňuje nejvyšší klasifikaci mechanické odolnosti. Nejhorší výsledky byly naměřeny u stěpky habru. Nejlepší výsledky, stejně jako u briket o průměru 52 mm, získaly brikety ze skartovacího papíru, které jako jediné disponovaly hodnotami nad 95 %.

Obrázek 39 – Graf Gaussovo rozdělení briket o průměru 65 mm



Obrázek 40 – Graf výsledků lomové zkoušky



Z výsledků vyobrazených na obr. 40 je zřejmé, že největší lomová síla briket vyšla také u skartovaného papíru a pohybuje se okolo $358 N \cdot mm^{-1}$. Nejhoršího výsledku vykázal opět smrk, když dosáhl hodnoty pouze $67 N \cdot mm^{-1}$. Brikety o průměru 65 mm zaznamenaly několikanásobně horší hodnoty než brikety o průměru 52 mm.

6.6 Brikety průměr 52 mm x průměr 65 mm

Na obrázku č. 41 je znázorněno porovnání mechanické odolnosti briket průměru 52 mm a 65 mm.

Obrázek 41 – Graf mechanické odolnosti briket 52 a 65 mm



V porovnání mechanické odolnosti byly naměřeny lepší hodnoty u briket vyrobených o průměru 52 mm. Nutno podotknout, že u skartovaného papíru to bylo o pouhé dvě desetiny. Nejhorší hodnoty zaznamenala štěpka habru o průměru 65 mm. Tři materiály dosáhly na nejlepší ohodnocení mechanické odolnosti DU 95.0 a to dub \varnothing 52 mm, habr \varnothing 52 mm a skartovaný papír u obou průměrů. Celkově lze říci, že všechny brikety o \varnothing 52 mm mohou konkurovat na trhu s fotalivou. U briket z hydraulického lisu o \varnothing 65 mm lze říci, že brikety jsou vhodné spíše pro vlastní zpracování uvnitř firmy, jelikož nejsou přizpůsobeny na častou manipulaci.

7 Technicko-ekonomické zhodnocení

Tato kapitola obsahuje informace, jež jsou využívány pro účely k výrobě briket. Brikety průměru 65 mm byly vyrobeny v rodinném truhlářství, které zpracovává odpad pomocí briketovacího lisu BrikStar EK 20 s průměrným výkonem 20 kg/hod.

7.1 Základní informace

Truhlářství zaměstnává 6 stálých a 2 nárazové zaměstnance. Zaměstnanci odpracují 8 hodin denně. Denně je potřeba zpracovat 1,5 m³ odpadního materiálu. Pro toto množství je vybraný lis naprosto ideální.

Pořizovací cena lisu BrikStar je 154 990 Kč.

V truhlářství se především využívá smrkové, dubové, borové občasně i bukové, modřínové nebo mahagonové. Výsledné brikety jsou nejvíce zastoupeny v kategorii smrkového a dubového dřeva, jelikož se firma zabývá výrobou dřevěných oken a dveří.

Při produkci 1,5 m³ odpadního materiálu denně, bude lis schopný vyrobit během 8 hodin 150 kg briket.

7.2 Náklady

Při koupi briketovacího lisu do rodinného truhlářství odpadají náklady na vstupní surovinu. Celkové náklady budou tedy tvořit energetické náklady, investiční náklady, náklady na zaměstnance, údržbové náklady a v poslední řadě náklady režijní.

Investiční náklady pro tento hydraulický lis jsou 154 990 Kč. Tato cena obsahuje pouze cenu lisu bez jakéhokoli příslušenství. Roční odpis při rovnoměrném odepisování na 3 roky činí 30 998 Kč. V tabulce č. 13 jsou zobrazeny základní požadavky na provoz briketovacího lisu.

Energetické náklady představují roční provoz lisu. Při ročním využívání, respektive při 8 hodinové směně, 5 dní v týdnu, po dobu 11 měsíců, vychází provoz na 1 760 hodin. Lis má příkon 2,4 kW. Spotřeba energie je tedy 2 808 kWh. Při průměrné ceně 4,32 Kč/kWh vycházejí roční energetické náklady na 12 130 Kč.

Náklady na zaměstnance představují plat vyplácený zaměstnanci za obsluhu briketovacího lisu. Zaměstnanec má hodinovou mzdu 110 Kč. Při obsluze briketovacího lisu 1 hodinu denně, vychází roční obsluha lisu na 220 hodin. Mzdové náklady tedy vychází na 24 200 Kč. Firma musí z této částky odvést 34 % na sociální a zdravotní pojištění. Celkový roční náklad tedy činí 32 428 Kč.

Pro náklady na údržbu má rodinné truhlářství vyhrazeno 300 Kč na měsíc. Jednou ročně bude provedena výměna oleje a dvakrát ročně proběhne výměna vložek olejového a vzduchového filtru. Celkové náklady na údržbu vychází na 4 700 Kč.

Náklady na režii jsou vypočteny procentuálním podílem z celkové plochy rodinné truhlářství. Prostor kde se briketovací lis nachází, zabírá 10 % z celé dílny. Režijní náklady tedy vychází na 11 000 Kč ročně.

Poslední jsou náklady na balení, které obsahují plastové pytle a stahovací pásky. Při roční produkci 33 000 kg briket, firma prodá 1 650 pytlů. Na každý pytel připadá celková hmotnost 20 kg. Cena jedné stahovací pásky se pohybuje okolo 0,8 Kč a cena jednoho pytle 10 Kč. Roční náklad na balení je tedy 17 820 Kč.

Tabulka 13 – Náklady na výrobu

Typ nákladu	Cena (Kč)/rok
odpisy	30 998
energetické náklady	12 130
náklady na zaměstnance	32 428
Náklady na údržbu	4 700
Náklady na režii	11 000
Náklady na balení	17 820
Celkem	109 076

7.3 Výnosy

Brikety jsou prodávány přímo ve firmě, a proto není nutná doprava. Cena za smrkové brikety se pohybuje okolo 4 - 5 Kč za kg. Rodinné truhlářství prodává brikety za 5 Kč/kg do pytlů o celkové hmotnosti 20 kg. Roční produkce briket činí 33 000 kg briket. Zisk tedy roven 165 000 Kč.

Od zisku je nutné odečíst 10%, jelikož truhlářství toto procento využívá v provozu pro vytápění dílny. Zisk před zdaněním 50 332 Kč. Zisk po zdanění je **39 763 Kč**.

7.4 Zhodnocení

Z technicko-ekonomického zhodnocení vyplývá, že pro truhlářství výroba briket přináší pozitivní sekundární příjem a to 39 763 Kč/rok. Přičemž samotná výroba biomasy není náročná na obsluhu. Dochází zde ke vzniku přidané hodnoty v podobě obnovitelného zdroje energie, který by jinak nenašel žádné ekonomické využití. U tohoto truhlářství se do budoucna nepočítá se zvýšenou produkcí. Proto je tento typ lisu naprosto ideální a dostačující.

8 Závěr

Briketováním lze zlepšit vlastnosti surových materiálů, které jsou určeny pro spalování. Snižuje prašnost a napomáhá jednodušší manipulaci a skladovatelnosti. Zvyšuje měrnou hmotnost a zlepšuje palivoenergetické vlastnosti. Celkově můžeme říci, že technologie briketování napomáhá k víceúčelovému využití materiálů. Jeden z problémů biopaliv je jejich zvyšující se cena, jelikož poptávka po nich stále stoupá. Toto zvyšování ceny může odradit potenciální zákazníky ke koupi briket a zůstanou u méně ekologického spalování uhlí nebo plynu.

Teoretická část diplomové práce byla zaměřena na tematiku briketování, rozdělení biomasy, vhodné materiály pro briketování, ideální vlastnosti vyrobených briket, seznámení s briketovacími lisami, drtiči, štěpkovači a v neposlední řadě s briketovací linkou.

Cílem praktické části diplomové práce bylo využití odpadních materiálů, které vznikají při truhlářské, pilařské a potravinářské výrobě. Všechny materiály jsou vhodné pro účely briketování. Celkem byly zbriketovány čtyři materiály, z toho dva byly získány z rodinného truhlářství a dva materiály od pana prof. Ing. Milana Brožka CSc.

Z truhlářství byly získány hobliny smrku a dubu. Od pana prof. Ing. Milana Brožka CSc. štěpky habru a skartované sešity studentů. Každý materiál podstoupil zkoušku lomové síly a mechanické odolnosti. Dále byla testována měrná hmotnost sloužící jako hlavní faktor pro určení mechanické pevnosti nebo vlhkosti. Zkouška mechanické odolnosti proběhla pomocí bubnu sestaveného podle normy ČSN EN 15210-2 (83 8221). Zkouška lomové síly byla provedena ve školní laboratoři na univerzálním stroji pro zkoušení tahem. Všechny zkoušky byly provedeny na briketách 52 a 65 mm.

Nejlepším testovacím materiálem se ukázal skartovací papír, který dosáhl nejlepších výsledků. Naopak nejhorší hodnoty u měrné hmotnosti průměru 65 mm získala štěpka habru a průměru 52 mm smrkové hobliny. Nejhorší mechanickou odolnost prokázaly brikety habru o průměru 65 mm. Jediné smrkové hobliny neobstály ani u jednoho průměru v nejpřísnějších požadavcích na mechanickou odolnost. Zkouška lomové síly prokázala, že

nejlepších hodnot dosáhl opět skartovací papír a to v obou průměrech. Na posledním místě s nejnižšími hodnotami se umístily smrkové hobliny.

Po shrnutí všech výsledků, můžeme říci, že vyrobené brikety o průměru 52 mm dosahují lepších výsledků, než brikety vyrobené o průměru 65 mm.

Součástí diplomové práce bylo také technicko-ekonomické zhodnocení, které bylo počítáno s reálnými čísly, od provozovatele rodinného truhlářství. Výsledky přibližně odpovídají reálným ziskům firmy během jednoho roku.

Dle mého názoru v budoucnu poptávka po briketách z nekovových materiálů stále poroste. Otázkou zůstává, zda bude jejich cena pro zákazníky přijatelná. Důležitým aspektem bude vývoj ceny uhlí a plynu jakožto konkurenčního substitutu. Největší výhodou briket z rostlinné biomasy je nízká zátěž na životní prostředí a znovuvyužití odpadového materiálu. Zájem o alternativní palivo může být v následujících letech podpořen stále rostoucím trendem udržitelnosti. Technologie briketování nekovových materiálů má velký potenciál a do budoucna je možné, že se budeme setkávat s více netradičními materiály.

9 Seznam použité literatury

ALMEA, BIOMASA. Co je to lesní štěpka - Almea Biomasa - *Výroba štěpky, obchod se dřevem, obchod dřevním odpadem, palivové dřevo, lesnické služby* [online]. Copyright © Copyright 2014 [cit. 05.05.2021]. Dostupné z: <http://www.biomasa-almea.cz/cz/co-je-to-lesni-stepka>

ANDERT, D., V. SLADKÝ a Z. ABRHAM. *Energetické využití pevné biomasy*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2006, 59 s. ISBN 80- 868- 8419- 8.

BECHNÍK, B. *Biomasa - definice a členění*. Oze.tzb-info.cz [online]. Praha 6: redakce, 2009 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/biomasa/5641-biomasa-definice-a-cleneni>

BRIKLIS. *Briketovací linky BRISUR 200 až 1000* [online]. [06.05.2021]. Dostupné z: <http://www.briklis.sk/index.php/briketovacie-lisy-na-drevo/briketovacie-linky>

BRIKLIS, spol. s r.o. *Briketovací lis BrikStar EK 20* | Briklis, spol. s r.o.. [online]. Copyright © 2015 [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <http://www.briklis.cz/briketovaci-lis/brikstarek/>

BRIKLIS. *Briketovací linky 200, 400, 600, 800, 1000: Části briketovací linky BRISUR* [online]. 2011 [06.05.2021]. Dostupné z: http://www.briklis.cz/susarny-linky/linky/#product-tabs=casti_briketovaci_linky_brisur

BRIKLIS, spol. s r.o. *Bubnová sušárna pilin BUS 200, 400, 600, 800, 1000* | Briklis, spol. s r.o.. [online]. Copyright © 2015 [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <http://www.briklis.cz/susarny-linky/susarny-pilin/>

BRIKLIS, spol. s r.o. *Sušárna štěpky SUS* | Briklis, spol. s r.o.. [online]. Copyright © 2015 [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <http://www.briklis.cz/susarny-linky/>

BRIKLIS, spol. s r.o. *Briketovací lis BrikStar 30, 50, 70* | Briklis, spol. s r.o.[online]. Copyright © 2015 [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <http://www.briklis.cz/briketovaci-lis/30-50-70/>

BRIKLIS. *Vše o briketování* [online]. Malšice: 2015 [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <http://www.briklis.cz/vse-o-briketovani/>

BROŽEK, M., (2013). *Study of briquettes properties at their long-time storage*. Journal of Forest Science, 59, (3): pp. 101–106.

BUFKA, A., *Brikety a pelety z biomasy v roce 2007*. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2008, 8.

BUFKA, A, M MODLÍK a J VEVEKOVÁ. *Brikety a pelety v letech 2003–2019*. Mpo.cz [online]. Praha: Oddělení analýz a datové podpory koncepcí, 2020 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/tuha-paliva/2020/4/Brikety_a_pelety_2020.pdf

CADOCHE, L. A LÓPEZ, G.. *Assessment of size reduction as a preliminary step in the production of ethanol from lignocellulosic wastes*. *Biological Wastes*. 1989, str. 153-157.

HAVRLAND, B. a V POBEDINSKIJ. *Biomass processing to biofuel*: monograph. 1st print. Chisinau: Powerprint, 2011, 86 s. ISBN 978-80-87415-20-7.

HORÁČEK, J., 2001: *Zpracovny nekovového odpadu 1. vyd.* Praha, skripta ČZU Praha, ČZU, 2001.

HRÁZSKÝ, J. a P. KRÁL. *Využití dřevních a jiných lignocelulozových odpadů*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1999, 96 s. ISBN 80-715- 7403-1.

CHUEN-SHII, CH., SHEAU-HORNG, L. AND WEN-CHUNG, L. *Preparation and characterization of solid biomass fuel made from rice straw and rice bran*. *Fuel Processing Technology*. 2009, pp. 980–987.

JANÍČEK, J. *Výroba pelet*. *Vutbr.cz* [online]. Brno: vysoké učení technické v Brně, 2011 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41927

JINDRA, J., *Autor Enviro. Homepage - Enviro* [online]. 2015 Dostupné z: <http://www.zsnovestraseci-enviro.cz/author/jindra-jangmail-com/>

KOČAŘ, J., *Konstrukce lisu na papírové brikety* [online]. Brno, 2017 Copyright © [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=151755

KOLÁŘ, P., *Co je biomasa a jak s ní topit* [online]. Otrokovice: Kadria, 2019 [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://kadria-kotle.cz/co-je-biomasa/>

KOLÁŘOVÁ, M., *Vlastnosti pelet a briket pro energetické využití*. Praha, 2011. Disertační práce. České zemědělská univerzita v Praze. Vedoucí práce Milan Brožek.

KOTLÁKOVÁ, A *Testování biomasy a výrobků z biomasy (pelet a briket) určených ke spalování*. *Biom.cz*. [Online] 02 15, 2009. [cit. 2021-5-6] Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/testovani-biomasy-a-vyrobku-z-biomasy-pelet-a-briket-urceny-ke-spalovani> . ISSN: 1801-2655.

MALÁŤÁK, J. a P. VACULÍK. *Biomasa pro výrobu energie*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008, 206 s. ISBN 978-80-213-1810-6.

MILWOOD, *Briketování slámy a jiných zemědělských materiálů* [online] Albrechtice nad Orlicí [cit. 2021-5-9] Dostupné z: <https://www.milwood.eu/nove-stroje/briketovaci-lisy/106-briketovani-slamy-sena-a-zemedelskych-plodin/153-briketovani-zemelskych-plodin.html>

NOVÁKOVÁ, A., Brozek, M. (2011). *Briquettes from paper waste*. In.: Ecology and farming technologies: Agro-engineering approaches. Saint-Petersburg-Pavlovsk, Russian academy of agricultural sciences et al., pp. 219–225.

ODPADY. *Brikety ze starého papíru pro energetické využití | Odpady |* [online]. 2009 [cit. 2021-5-6] Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/brikety-ze-stareho-papiru-pro-energeticke-vyuziti/>

PASTOREK, Z., J. KÁRA a P. JEVIČ. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004. 80-86534-06-5.

PAPÍROVÉ BRIKETY. *Odpadový Papír - Briketovací lisy |* [online]. 2009 [cit. 2021-5-6] Dostupné z: <http://www.papirovebrikety.cz/papir/>

PAPÍROVÉ BRIKETY. *Spalování - Briketovací lisy |* [online]. 2009 [cit. 2021-5-6] Dostupné z: <http://www.papirovebrikety.cz/spalovani-papirove-brikety/>

ŠMEJKAL, M.: *Brikety ze starého papíru pro energetické využití*. Odpady ihned.cz [online] [cit. 2021-5-6]. Dostupné z WWW: http://odpadyihned.cz/c4-10024740-36734690-E00000_d-brikety-ze-stareho-papiru-pro-energeticke-vyuziti.

SOUČEK, J. *Drtiče, štěpkovače a řezačky pro úpravu rostlinné biomasy*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. ISBN 978-80-86884-31-8.

STATISTIKA A VÝPOČTNÍ TECHNIKA. *Pravděpodobnostní rozdělení spojité náhodné veličiny pro základní soubory* [online]. [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn2/rozdelZS.htm>

STUPAVSKÝ, V. *Nové normy pro tuhá biopaliva již v platnosti*. Vytapeni.tzb-info.cz [online]. Praha 6: redakce, 2014 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapeni/11997-nove-normy-pro-tuha-biopaliva-jiz-v-platnosti>

STUPAVSKÝ, V. *Pelety z biomasy - dřevěné, rostlinné, kůrové pelety*. biom.cz. [Online] 01 01 2010. [cit. 2021-5-6] Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pelety-z-biomasy-drevne-rostlinne-kurove-pelety>. ISSN: 1801-2655.

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Cyklus dendromasy	2
Obrázek 2 – Klikový briketovací lis (Kočař, 2017)	17
Obrázek 3 – Hydraulický briketovací lis (Kočař, 2017)	17
Obrázek 4 – Šnekový briketovací lis (Kočař, 2017)	18
Obrázek 5 – Briketovací linka BRISUR (Briklis, briketovací linky)	20

Obrázek 6 – Drtiče (Brikliis, 2011).....	21
Obrázek 8 – Šnekový dopravník (Brikliis, briketovací linky)	21
Obrázek 7 – Pásový dopravník a násypka (Brikliis, briketovací linky)	21
Obrázek 9 – Sušárna (Brikliis, 2011).....	22
Obrázek 10 – Kotel (Brikliis, briketovací linky)	23
Obrázek 11 – Cyklon (Brikliis, 2011).....	23
Obrázek 12 – Lis (Brikliis, 2011)	24
Obrázek 13 – Bubnová sušárna pilin (Brikliis, 2015)	25
Obrázek 14 – Sušárna štěpky (Brikliis, spol. s r. o., 2015)	26
Obrázek 15 – Štěpkovač Pezzolato 110 mb (Souček, 2008)	27
Obrázek 16 – Nejčastěji používané systémy štěpkování (zleva: bubnové, kolové, šnekové) (Souček, 2008).....	28
Obrázek 17 – Mobilní drtič ve formě návěsu (Souček, 2008)	28
Obrázek 18 – Nejčastěji používané systémy drcení (Souček, 2008)	29
Obrázek 19 – BrikStar EK 20 (Brikliis, 2015)	31
Obrázek 20 – BrikStar 30-12 (Brikliis, spol. s r.o. 2015)	32
Obrázek 21 – Buben (Kolářová 2011).....	33
Obrázek 22 – Testovaný materiál habr (Nováková, 2011)	34
Obrázek 23 – Princip zkoušky prasknutí (Nováková, 2011).....	34
Obrázek 24 – Gaussovo (normální) rozložení (Statistika a výpočetní technika)	37
Obrázek 25 – Briketa ze smrkových hoblin.....	39
Obrázek 26 – Smrkové hobliny	39
Obrázek 28 – Briketa z dubových hoblin	40
Obrázek 27 – Dubové hobliny	40
Obrázek 29 – Briketa ze štěpky habru.....	41
Obrázek 30 – Štěpka habr.....	41
Obrázek 31 – Skartovaný papír	42
Obrázek 32 – Briketa ze skartovaného papíru.....	42
Obrázek 33 – Graf měrné hmotnosti briket o průměru 52 mm	43
Obrázek 34 – Graf mechanické odolnosti briket o průměru 52 mm	43
Obrázek 35 – Graf Gaussovo rozdělení briket o průměru 52 mm	44
Obrázek 36 – Graf výsledků lomové zkoušky	44

Obrázek 37 – Graf měrné hmotnosti briket o průměru 65 mm	45
Obrázek 38 – Graf mechanické odolnosti briket o průměru 65 mm	45
Obrázek 39 – Graf Gaussovo rozdělení briket o průměru 65 mm	46
Obrázek 40 – Graf výsledků lomové zkoušky	46
Obrázek 42 – Graf mechanické odolnosti briket 52 a 65 mm	47

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Zdroje energeticky využitelných biomasy v ČR (Pastorek, 2007).....	4
Tabulka 2 – Podíl jednotlivých dřevních odpadů z dřevozpracujícího odpadu (Horáček, 2001)4	
Tabulka 3 – emisní faktory vztažené na hmotnost paliva v [g/kg] (Papírové brikety, 2009).....	8
Tabulka 4 – Základní bilance dřevních briket (tis.tun) (Bufka, 2020)	15
Tabulka 5 – Vývoz briket a pelet podle zemí (tuny; podle ČSÚ bez dopočtu) (Bufka, 2008)...	16
Tabulka 6 – Seznam použitých materiálů.....	30
Tabulka 7 – Pásma mechanické odolnosti.....	33
Tabulka 8 – Pásma měrných hmotností (Kolářová 2011)	36
Tabulka 9 – Brikety ze smrkových hoblin	39
Tabulka 10 – Brikety z dubových hoblin	40
Tabulka 11 – Brikety ze štěpky habru.....	41
Tabulka 12 – Brikety ze skartovaného papíru.....	42
Tabulka 13 – Náklady na výrobu	50

Seznam zkratk

CO – kobalt

NO_x – souhrnné označení pro oxidy dusíku

SO₂ – oxid siřičitý

TOC – Total Organic Carbon

TZL – Tuhé znečišťující látky