

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálů a strojírenské technologie



Diplomová práce

Briketování

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

Diplomant Bc. Miroslav Mládek

©2021 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Miroslav Mládek

Zemědělská specializace
Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Briketování

Název anglicky

Briquetting

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; technicko-ekonomické zhodnocení

Doporučené zdroje informací

- BROŽEK, M.: Briquettes properties after four years storage. *Manufacturing Technology*. 2018, 18(1). s. 11-15.
- 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. Časopisy zahraniční i tuzemské (<https://www.sic.czu.cz/cs/r-8833-odborne-databaze/r-8833-infozdroje>).
- KALIYAN, N., MOREY, R. V.: Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*. 2009, 33(3). s. 337–359.
- KOLÁŘOVÁ, M.: Vlastnosti pelet a briket pro energetické využití (Doktorská disertační práce, školitel Milan Brožek). Praha, ČZU 2011.
- PANWAR, V., PRASAD, B., WASEWAR, K. L.: Biomass Residue Briquetting and Characterization. *Journal of Energy Engineering*. 2011, 137(2). s. 108–114.
- PLÍŠTIL, D.: Briketování a paketování (Doktorská disertační práce, školitel Milan Brožek). Praha, ČZU 2005.
- SAPTOADI, H.: The Best Biobriquette Dimension and its Particle Size. *Asian Journal on Energy and Environment*. 2008, 9(3). s. 161–175.
- STOLARSKI, M. J., SZCZUKOWSKI, S., TWORKOWSKI, J. et al.: Comparison Of Quality And Production Cost Of Briquettes Made From Agricultural And Forest Origin Biomass. *Renewable Energy*. 2013, 57. s. 20–26.
-

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 12. 1. 2019

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 25. 01. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma “Briketování“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc., za odborné vedení práce, cenné rady a pomoc při praktické části diplomové práce.

Briketování

Abstrakt

Fosilní paliva ubývají a je nutné najít kvalitní ekologickou náhradu. Jedním z obnovitelných zdrojů je biomasa, která má uplatnění v získávání energie. Diplomová práce experimentálně zkoumá mechanické vlastnosti briket. Byla zkoušena mechanická pevnost (lomová síla), mechanická odolnost, měrná hmotnost a vlhkost. Byly zkoumány následující materiály: růže, bříza, tavolník, olivovník, topol osika, smrkové piliny, borovicové hobliny. Diplomová práce pojednává o mechanických vlastnostech briket z uvedených materiálů. Výsledky byly uspořádány do grafů kvůli větší přehlednosti.

Klíčová slova: briketování, briketa, biomasa, briketovací lisy, obnovitelné zdroje energie, odpadní materiál, mechanické vlastnosti briket

Briquetting

Abstract

Fossil fuel is going to decrease and it is necessary to find quality ecological substitute. One of the renewable sources is biomass, which has application to get energy. Diploma thesis examines mechanic properties of the briquettes by experiments. It was measured strength of material (rupture force), mechanical durability, density and moisture. They were examined following materials: rose, birch, meadow-sweet, olive-tree, aspen poplar, spruce sawdust and pine shavings. Diploma thesis is about mechanical properties of briquet from the stated materials. Results was organized to the tables and graphs due to bigger clarity.

Key words: briquetting, briquet, biomass, briquetting presses, renewable sources of energy, waste material and mechanical properties of briquettes.

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíle práce, metodika	2
2.1	Cíle práce	2
2.1.1	Primární cíl	2
2.1.2	První cíl	2
2.1.3	Druhý cíl	2
2.1.4	Třetí cíl	3
2.1.5	Čtvrtý cíl	3
2.2	Metodika	3
3	Literární rešerše	4
3.1	Historie a současnost briketování	4
3.2	Legislativa EU a předpisy pro využití biomasy	6
3.2.1	Legislativa EU v oblasti energetiky	6
3.2.2	Legislativa ČR v oblasti energetiky	7
3.2.3	Dlouhodobá strategie	7
3.3	Základní pojmy	7
3.4	Vlastnosti briket	8
3.4.1	Manipulační charakteristiky briket	9
3.4.2	Výhřevnost	12
3.4.3	Spalné teplo	13
3.4.4	Obsah vody	13
3.4.5	Obsah popela	15
3.4.6	Prchavá hořlavina	15
3.4.7	Emisní charakteristiky	16
3.5	Technologie briketování nekovových materiálů	17

3.5.1	Sušení	17
3.5.2	Dezintegrace	18
3.5.3	Briketování	19
3.6	Briketovací lisy	20
3.6.1	Mechanické lisy	20
3.6.2	Hydraulické lisy	20
3.6.3	Šnekové lisy	21
3.6.4	Válcové lisy	21
3.6.5	Briketovací linky	22
3.7	Materiály pro briketování	23
3.7.1	Rozdělení a zpracování	23
3.7.2	Dřevo	23
3.7.3	Biomasa	24
3.7.4	Odpad ze zemědělství	26
3.7.5	Energetické rostliny	26
3.7.6	Lesní a plantážové dřevo	27
3.7.7	Vedlejší produkty dřevozpracujícího průmyslu	28
3.7.8	Použité dřevo	28
3.7.9	Rychle rostoucí dřeviny	28
3.8	Skladování briket	29
4	Praktická část	30
4.1	Lisování briket	30
4.2	Postupy měření	31
4.2.1	Postup měření hustoty briket	31
4.2.2	Postup měření mechanické pevnosti	32
4.2.3	Postup měření mechanické odolnosti	33
4.2.4	Postup měření vlhkosti briket	34

4.3	Vyhodnocení měření – jednotlivé materiály	34
4.3.1	Tavolník.....	34
4.3.2	Růže.....	35
4.3.3	Bříza	36
4.3.4	Topol osika.....	38
4.3.5	Olivovník.....	39
4.3.6	Borovice – hobliny	40
4.3.7	Smrk – piliny	42
4.4	Vyhodnocení měření – porovnání materiálů.....	43
4.4.1	Měrná hmotnost.....	43
4.4.2	Lomová síla	44
4.4.3	Vlhkost	45
4.4.4	Mechanická odolnost.....	45
4.4.5	Fyzikální vlastnosti briket	46
4.4.6	Závislost mechanické odolnosti na mechanické pevnosti.....	48
4.5	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	49
4.5.1	Popis situace	49
4.5.2	Výkonnost lisu.....	49
4.5.3	Náklady na provoz stroje.....	50
4.5.4	Investiční náklady.....	51
4.5.5	Ostatní náklady	52
4.5.6	Výnosy z prodeje briket	52
4.5.7	Celkové finanční zhodnocení	52
4.5.8	Bod zvratu	53
5	Závěr a diskuze.....	55
5.1	První cíl	56
5.2	Druhý cíl.....	56

5.3	Třetí cíl.....	56
5.4	Čtvrtý cíl.....	56
	Zdroje.....	57
	Seznam obrázků.....	63
	Seznam grafů.....	64
	Seznam tabulek.....	65

1 Úvod

V dnešní době se čím dál častěji hovoří o obnovitelných zdrojích energie. Při získávání energií roste zájem o ekologii, ekonomii a šetrnost k životnímu prostředí. Snažíme se minimalizovat spotřebu fosilních paliv např. využíváním obnovitelných zdrojů energie. V dnešní době nejsou schopny nahradit fosilní paliva. Minimalizace ve větší míře nebo dokonce úplný odstup od fosilních paliv není v dohledné době možný přes to, že se jejich zdroje a dostupnost nepřetržitě snižuje a oproti tomu cena roste. [3] [59]

Jedním z obnovitelných zdrojů energie je biomasa. Biomasu je možné záměrně pěstovat za účelem následného využití jako zdroj energie nebo lze využít biomasu odpadní. Ekologická výhoda biomasy je nulové zatížení ovzduší oxidem uhličitým. Biomasu je mimo jiné možné zpracovat do formy briket nebo pelet. Zpracování provádíme pomocí lisů. Toto zpracování je ekonomicky výhodné, protože mimo jiné snižuje náklady na dopravu a skladování biomasy. Další výhodou je absence dodatečných syntetických pojiv. V některých případech je žádoucí využít přírodní organická nebo anorganická pojiva. K vytvoření výsledného produktu je nejčastěji zapotřebí pouze působení tlaku a v některých případech působení tlaku a zvýšené teploty v lisovací komoře, který je v drtivé většině tvořen přeměnou elektrické energie. Každý materiál má po slisování odlišné mechanické vlastnosti, které jsou závislé na struktuře materiálu, typu materiálu a vlhkosti materiálu. Díky působení tlaku se zvyšuje měrný objem materiálu a tím i objemové množství energie, proti původní vstupní surovině. [13] [39]

Diplomová práce se zaměřuje na téma briketování se zkoumáním jeho mechanických parametrů. Popisuje legislativu, normy, základní pojmy, vlastnosti briket, technologie briketování a materiály vhodné pro briketování. Praktická část práce je zaměřena na porovnání mechanických vlastností jednotlivých materiálů. Experiment proběhl na sedmi odlišných materiálech a následně byly vyhodnoceny a porovnány určité vlastnosti briket.

2 Cíle práce, metodika

2.1 Cíle práce

Byl stanoven jeden primární cíl práce a čtyři cíle sekundární. Cíle byly stanoveny na základě odborné literatury popisující problematiku tak, aby ověřily a doplnily související odborné práce.

2.1.1 Primární cíl

Obecným cílem práce je posouzení mechanických vlastností briket vytvořených z různých materiálů pomocí experimentu a následné zhodnocení. K uskutečnění tohoto cíle bylo potřeba zpracovat literární rešerši, která obsahuje základní souhrn informací ohledně briketování. Na začátku je popsána historie a současnost briketování, legislativa a základní pojmy. V následujících částech jsou popsány vlastnosti briket a technologie briketování. Důležitá část práce je popis zkušebních postupů briket. Závěrem práce je provést experiment na briketách z odlišných materiálů a analyzovat výsledky experimentu.

2.1.2 První cíl

Experimentálně ověřit, jestli briketovací lis vyrábí vždy brikety s deklarovanou hustotou dle parametrů zařízení nezávisle na druhu a frakci vstupního materiálu.

2.1.3 Druhý cíl

Experimentálně zhodnotit, jestli při stoupající hustotě vzorků bude stoupat mechanická pevnost briket, tedy zdali existuje závislost mezi hustotou a mechanickou pevností.

2.1.4 Třetí cíl

Experimentálně zhodnotit vliv mechanické pevnosti na mechanické odolnosti materiálu. Existuje závislost mezi mechanickou pevností a mechanickou odolností?

2.1.5 Čtvrtý cíl

Experimentálně zhodnotit, zdali jsou vyrobené brikety vhodné k užívání dle platných technických norem.

2.2 Metodika

Z literární rešerše vznikl základ pro experiment práce. Experiment je rozdělen na čtyři základní části.

- Získání potřebných materiálů pro provedení experimentu.
- Výroba briket (vzorků) pomocí briketovacího lisu. Celkem bylo použito 7 různých materiálů a k výrobě briket byl použit briketovací lis s lisovací komorou o průměru 50 mm.
- Měření hustoty, mechanické odolnosti – lomové síly, měření mechanické odolnosti a měření vlhkosti vzorků.
- Zpracování informací pomocí tabulkového procesoru a porovnání materiálů.

3 Literární rešerše

Následující kapitola obsahuje souhrn teoretických poznatků ohledně historie, legislativy, technologie a testování briket.

3.1 *Historie a současnost briketování*

Briketování je poměrně stará technologie, jejíž počátky sahají až do 16. století, kdy byla vytvořena první zhutněná hmota na území tehdejší Číny. Technologie briketování byla původně vynalezena pro zpracování uhlí. K jejímu většímu rozšíření došlo v Evropě v druhé polovině 19. století, kdy se stala významným průmyslovým odvětvím. Roku 1865 bylo představeno zařízení používané k výrobě palivových briket z rašeliny, které je považováno za předchůdce současných strojů. Od té doby se používání briket vyrobených z hnědého uhlí, rašeliny či uhelného popílku hojně rozšířilo. [1]

Na rozdíl od uhlí briketování organických materiálů vyžaduje podstatně vyšší tlaky, protože k překonání přirozené pružnosti těchto materiálů je zapotřebí větší síly. V podstatě se jedná o destrukci buněčných stěn za určité kombinace tlaku a tepla. Potřeba vyšších tlaků znamená, že briketování organických materiálů je ze své podstaty nákladnější než u anorganických paliv. [1]

Používání různých forem organického briketování bylo běžné jak během první světové války, tak i během krize ve 30. letech 20. století. Ve Švýcarsku byl ve 30. letech vyvinut moderní mechanický pístový briketovací stroj, jehož základem byl německý návrh stroje. Briketování pilin a jiného odpadního materiálu se během druhé světové války v důsledku nedostatku paliv rozšířilo v mnoha zemích v Evropě a Americe. Po válce byly brikety z trhu převážně vytlačovány levnými uhlovodíkovými palivy. Používání organických palivových briket, zejména v průmyslu, bylo oživeno v období vysokých cen za energie v 70. letech a na počátku 80. let 20. století, především ve Skandinávii, USA a Kanadě. V Japonsku se běžně používalo briketování palivových briket „Ogalite“ vyrobených z pilin. Japonská technologie se rozšířila na Tchaj-wan a odtud do dalších zemí, jako je Thajsko. Japonské a později tchajwanské briketování bylo téměř výhradně

založeno na použití šnekových lisů, které, ačkoli pocházejí z USA, byly ve větší míře přijaty asijskými než evropskými nebo americkými výrobci. Takové brikety byly v Japonsku v 50. letech 20. století široce používány jako náhrada dřevěného uhlí, které bylo tehdy ještě velmi rozšířeným palivem. [1]

V České republice se v posledních dvaceti letech briketování prosazuje v oblasti zpracování kovového i nekovového materiálu. Základem této metody je působení vysokého tlaku na jemnozrnný materiál. Konečným produktem jsou brikety, obvykle válcového tvaru a různého průměru a délky. Brikety mohou mít tvar, např. kvádr se zaoblenými rohy, šestiúhelníkový kvádr atd. Tvar určuje konstrukce lisovací komory použitého briketovacího lisu. [2]

V dnešní době jsou zásoby neobnovitelných zdrojů energií (uhlí, ropa, zemní plyn) postupně vyčerpávány a jejich cena se neustále zvyšuje. Z ekonomického hlediska se jeví jako perspektivní řešení využití biomasy či jiných dalších organických alternativ. V České republice je pouze malé procento spotřebované energie vyrobené z biomasy, kdežto v některých jiných zemích jsou to dokonce desítky procent. Největší podíl využití biopaliva je v zemích třetího světa, kde stále většinu tepelné energie získávají spalováním biomasy, ale i např. severské státy, jako Švédsko s podílem 17 % a Finsko s podílem 19 %. Hlavním důvodem nízkého využití této technologie v tuzemsku je nízká informovanost koncových spotřebitelů o značných výhodách briketování a nevyhovující dotační politika. [3] [59]

V současné době je díky moderním a technologicky vyspělým briketovacím lisům možné briketovat celou řadu materiálů např. uhelný prach, dřevěné piliny či dokonce kovové třísky bez přidaného pojiva. Bude-li se briketovat spalitelný odpad, lze získat poměrně jednoduchým a ekonomicky nenáročným procesem produkt, jehož vlastnosti jsou velmi podobné nejpoužívanějším pevným palivům v domácnostech, jako jsou např. dřevo či hnědé uhlí. Procesu briketování předchází i další nezbytné technologické úpravy materiálu, mezi které patří např. úprava vlhkosti a frakce suroviny. Využití briketovací a peletovací technologie přináší značné úspory, jelikož materiály lisované z hořlavých materiálů, např. z dřevěného odpadu (štěpky, piliny), slámy, uhlí, papíru, lepenky, celulózy, tabáku mohou být následně využívány energeticky (spalováním). [3]

V České republice jsou kvalitativní požadavky na vlastnosti briket dány technickou normou ČSN EN ISO 17225-1. Norma udává obsah vody do 10 %, minimální hustotu briket $900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, výhřevnost min. $17 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, obsah popela v bezvodém stavu do 1,5 %, obsah dusíku do 0,3 %, síry do 0,08 %, chlóru do 0,03 %, požadavky na pevnost briket zde nejsou předepsány. Nicméně z provozních důvodů je velmi důležitá odpovídající kompaktnost, aby při běžném zacházení nebo transportu nedocházelo k drobení a degradaci materiálu. [5] [56]

3.2 Legislativa EU a předpisy pro využití biomasy

Biomasu lze považovat za velmi perspektivní obnovitelný zdroj energie. Ministerstvo životního prostředí a ministerstvo průmyslu a obchodu se podílí na podpoře zavádění biopaliv v České republice. Česká energetická agentura a Fond životního prostředí se zabývají realizací a poskytováním dotací Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie. Jak již bylo uvedeno, v České republice dochází k mnohem menšímu využití obnovitelných zdrojů energie, než je běžné ve vyspělých zemích Evropské unie. Vstupem do EU se Česká republika stala součástí politiky udržitelného rozvoje energetiky a zavázala se tak mimo jiné ke zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie (min. na 8 %) na hrubé spotřebě primárních energetických zdrojů do konce roku 2010. [6]

3.2.1 Legislativa EU v oblasti energetiky

V oblasti energetiky je aktuální balík legislativních návrhů z října 2016 nazvaný Čistá energie pro všechny Evropany. Tento balík se skládá z osmi návrhů. Čtyři řeší nové uspořádání trhu s elektřinou a zbývající čtyři podporu obnovitelných zdrojů energie. [7]

Mezi nejdůležitější právní normy EU, které se týkají obnovitelných zdrojů energie a využívání biomasy k energetickým účelům patří Směrnice EU č. 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů. [7]

3.2.2 Legislativa ČR v oblasti energetiky

V České republice je v oblasti energetiky v platnosti zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií s řadou prováděcích vyhlášek. Součástí je také zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. [8]

Dalším zákonem je zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, který stanovuje národní akční plán v této oblasti a podporu elektřiny z obnovitelných a druhotných zdrojů. [9]

Výše uvedené zákony doplňuje vyhláška č. 477/2012 Sb. o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchovávání dokumentů, která mimo jiné v §3 popisuje způsoby využití biomasy. [10]

Energetické využívání biomasy zasahuje mnoho právních problémů, a proto existuje mnoho složkových zákonů z oblastí zemědělství, životního prostředí, živnostenské, energetiky, staveb a podnikatelské, které zde nejsou uvedeny. [10]

3.2.3 Dlouhodobá strategie

Dlouhodobá strategie EU je transformace společnosti na klimaticky neutrální do roku 2050. Cílem je vytvoření hospodářství s nulovými emisemi CO₂. Jedná se o součást plánu – Zelená dohoda pro Evropu. Evropská komise za tímto účelem podala návrh nařízení evropského parlamentu a rady – COM (2020) 80 final – 2020/0036 (COD). [60]

3.3 Základní pojmy

- **Biomasa** je biologicky odbouratelná část produktů, odpadů a zbytků ze zemědělství (včetně rostlinných a živočišných látek), lesnictví a příbuzných průmyslových odvětví, jakož i biologicky odbouratelná část průmyslového a komunálního odpadu.

Biomasou se tedy rozumí materiál biologického původu s výjimkou materiálu uloženého v geologických útvarech nebo přeměněného na fosilie. [11]

- **Briketa** je zhutněný materiál ve tvaru krychlovitých, válcovitých, šestistěnných, dutých krychlovitých, dutých válcovitých nebo dutých šestistěnných jednotek o průměru 25 – 100 mm a délky až 300 mm, vyrobená slisováním pokud možno bez přidaných pojiv. [12]
- **Briketování** je technologický proces, během kterého lisováním drceného sypkého materiálu (uhlí, odpadu či biomasy) pod tlakem v tzv. briketovacím lisu vznikají brikety, které jsou určeny ke spálení. Lisovat lze buď jen tlakem, teplem a tlakem, bez příměsí anebo s organickými případně anorganickými pojivy. [13]
- **Dřevní palivo** neboli **palivové dřevo** je palivo se zachovaným původním složením dřeva, nezměněné z původní formy. [12]
- **Dřevní štěpka** je štípaná dřevní biomasa ve tvaru kusů s definovanou velikostí částic, vyrobená mechanickým zpracováním ostrými nástroji. [12]
- **Zelená biomasa** je materiál s obsahem vody blížící se čerstvě posečené hmotě, ale již dále nerozlišené dle kvality. [12]

3.4 Vlastnosti briket

Vstupním materiálem pro výrobu briket je např. suchý dřevní prach, drtě, uhelný prach, dřevěná štěpka, piliny, kůry, hobliny nebo vysušené rostlinné zbytky. Barva briket se odvíjí od použitého druhu biomasy, kvality suroviny ovlivněné vlhkostí nebo příměsí kůry a použitého technologického procesu výroby. Brikety lisované za pomoci tepla a tlaku mají zpravidla tmavší odstín. Brikety, co se týče výhřevnosti, která je 12 – 15 MJ·kg⁻¹, můžeme zařadit mezi hnědé a černé uhlí. [14]

Brožek [2] dále uvádí, že brikety musí navíc také mít minimální skladovací stabilitu 9 měsíců, během kterých se nemění velikost, hustota a vlhkost brikety o více než 10 %. Brikety lze najít v různých tvarech a typech. Jsou plně válcové, válcové s vnitřním otvorem pro lepší hoření, čtyřhranné a šestihdranné opět s vnitřním otvorem nebo ve tvaru kvádrů a proto se úsporněji skládají do balíků a na palety, tzv. RUF (obr. 1). [14]

Výroba briket pro každý typ užívání má svá specifika, je tedy nutné vědět, zda budeme vyrábět brikety pro snížení objemu odpadního materiálu a lepší skladování, pro



Obr. 1 Brikety RUF a brikety válcové [18, 19]

vytápění domácností či vytápění chalup. Konečné vlastnosti briket závisí na řadě faktorů. Nejdůležitějšími vlastnostmi jsou frakce lisovaných částic, použitý tlak a vlhkost. [15] Kvalita výsledné brikety je pak posuzována dle hustoty, tvarové stálosti a vzhledu povrchu. Tyto parametry jsou dány především konstrukcí briketovacího lisu, tvarem lisovací komory lisu, teplotou, tlakem a rychlostí lisovacího cyklu. Díky nízké vlhkosti jsou brikety výborným palivem do zplynovacích kotlů, kde při dobrém spalování vzniká CO_2 , vodní pára a jen malé množství škodlivých plynů a par. Spalováním briket vzniká popel bohatý na fosfor, vápník, hořčík, draslík, hydroxid draselný, kyselinu fosforečnou, oxid křemičitý a další stopové prvky, které je možné použít jako hnojivo. [16] Výrobci briket dodávaných na trh se řídí normou ČSN EN 15234-1, která definuje požadavky na prokázání kvality tuhých biopaliv. [17]

Briketování je posuzováno především z hlediska snížení objemu objemného odpadního materiálu. Z hlediska výroby (zhuštění materiálu) existují dva hlavní kvalitativní aspekty briket, a to její geometrie a stálost. Geometrické vlastnosti přímo ovlivňují náklady na dopravu a skladování. V neposlední řadě další důležitý aspekt je energetická využitelnost. [1]

3.4.1 Manipulační charakteristiky briket

Hustota – měrná hmotnost brikety je dána hustotou použité suroviny. Hustota jednotlivých kusů se nazývá zdánlivá hustota. Vysokotlaké procesy, které jsou realizovány

pomocí mechanických pístových lisů, lisů na pelety a šnekových extrudérů, vytváří brikety v rozmezí hustoty 900 – 1200 kg·m⁻³. Hydraulické pístové lisy vytváří méně husté brikety většinou pod 1000 kg·m⁻³. V případě dřevnatého materiálu je maximální limit stlačení až kolem 1400 – 1450 kg·m⁻³. [1]

Eriksson a Prior [1] uvádí, že nemá smysl pokoušet se vyrábět brikety s ještě vyšší hustotou, jelikož se tím pravděpodobně zhorší palivové vlastnosti. Výhody jsou zanedbatelné, důležitější vlastností briket je jejich sypná hmotnost, což je celková hustota mnoha kusů naskládaných dohromady. Dle normy ČSN EN ISO 17225-1 můžeme rozdělit brikety do šesti pásem (tab. 1) začínaje na intervalu ≥ 800 kg·m⁻³ a konče intervalem > 1200 kg·m⁻³. [56]

Pásmo měrné hmotnosti DE	Měrná hmotnost [kg·m ⁻³]
DE0.8	≥ 800
DE0.9	≥ 900
DE1.0	≥ 1000
DE.1.1	≥ 1100
DE1.2	≥ 1200
DE1.2+	> 1200

Tab. 1 Pásma měrné hmotnosti [56]

Sypná hmotnost je funkcí hustoty jednotlivých briket a jejich geometrie. Velké a malé brikety i pelety mají rozdílnou sypnou hmotnost. Nicméně pro výpočty se dle Erikssona a Priora [1] používá faktor 2 mezi zdánlivou hustotou a sypnou hmotností. V praxi to znamená, že brikety se zdánlivou hustotou v rozmezí 1000-1100 kg·m⁻³ mají sypnou hmotnost 600-700 kg·m⁻³. Čím vyšší sypná hmotnost briket, tím vyšší vzdálenost, po kterou je ještě ekonomicky výhodné brikety přepravovat. Sypná hmotnost briket se stanovuje dle ČSN EN ISO 17828. [20]

V procesu briketování je výsledná hustota do značné míry ovlivněna velikostí částic suroviny. Jemně mletý materiál, například brusný prach ze dřevin, vytvoří velmi husté brikety, ale pro zhutnění bez pojiva vyžaduje vysoké tlaky a teploty. Hustotu produktu ovlivňuje také obsah vlhkosti. Voda v surovině zabrání stlačení briket a pára, která se z

materiálu odpařuje v důsledku vysokých teplot, zanechá dutiny, které snižují zdánlivou hustotu. Pokud brikety později absorbují vlhkost ze vzduchu, výsledkem je bobtnání materiálu, které snižuje hustotu na základě zvýšení objemu. Tento proces může vést k úplnému rozpadu briket. [1]

Mechanická odolnost je měřítkem úbytku brikety při působení mechanických vlivů, které vznikají při manipulaci a přepravě. Mechanická odolnost se zjišťuje pomocí zkoušky provedené buď v rotujícím bubnu (viz kapitola 4.2.3), nebo opakovaným padáním vzorků ze stanovené výšky. Výpočet odrolu provedeme pomocí vztahu (1). [21]

$$DU = \frac{m_A}{m_E} \cdot 100 \quad (1)$$

kde:

DU [%] – mechanická odolnost,

m_E [g] – hmotnost vzorku před zkouškou,

m_A [g] – hmotnost vzorku po zkoušce.

Obecně lze říci, že brikety vyrobené mechanickými pístovými lisami a šnekovými lisami jsou dostatečně tvrdé, aby je bylo možné přepravovat nákladním automobilem na značné vzdálenosti bez degradace. Třídy mechanické odolnosti určujeme dle tab. 2. [1]

Třída mechanické odolnosti DU	Mechanická odolnost [%]
DU95.0	≥95
DU90.0	≥90
DU90.0 -	<90

Tab. 2 Třídy mechanické odolnosti [56]

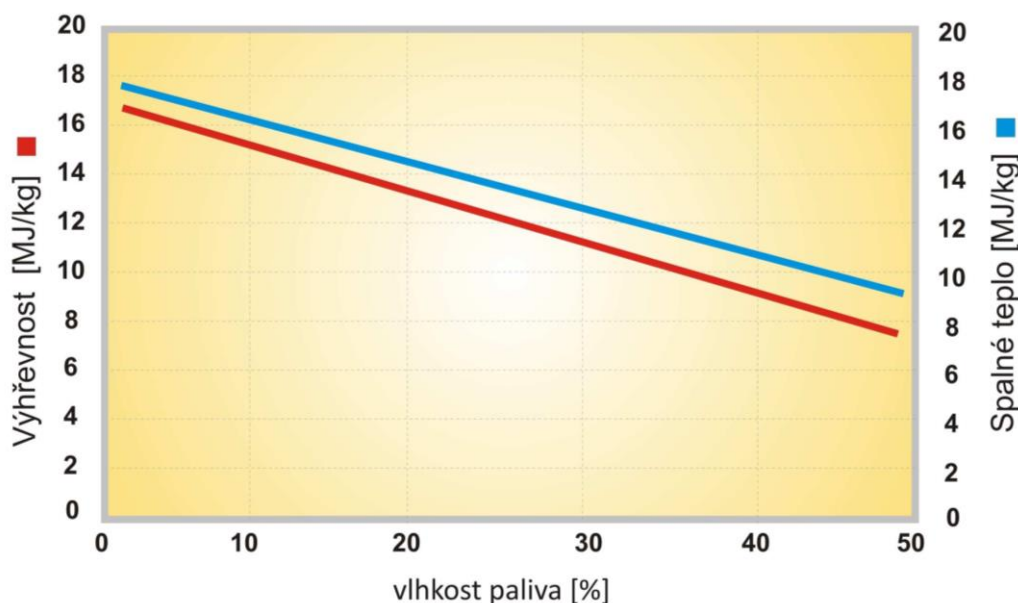
Odolnost proti vlhkosti je jednou z nejkritičtějších vlastností briket. Inherentní pojiva (lignin) a většina přidávaných pojiv jsou rozpustná ve vodě, což znamená, že brikety nesmí být vystaveny vodě ani vlhkému vzduchu. Brikety a pelety musí být skladovány pod krytem a ve vlhkých podmínkách mají omezenou životnost. [1]

3.4.2 Výhřevnost

Zplyňování klade na kvalitu briket vyšší nároky než spalování. Palivové lože má větší tloušťku vrstvy, což zvyšuje hmotnostní namáhání briket ve spodní části. Používání briket namísto, například štěpeného dřeva pro zplyňování má několik výhod: [1]

- brikety jsou sušší, což zvyšuje účinnost procesu a zvyšuje výhřevnost vyráběného plynu,
- sypná hmotnost je vyšší, zvyšuje se doba zdržení ve zplynovači a rychlost konverze plynu,
- velikost briket je variabilní a lze ji zvolit tak, aby odpovídala velikosti zplynovače a roštu zplynovače.

Výhřevnost je další z nejdůležitějších vlastností paliva. Jedná se o množství energie na kilogram, které vydává při spalování. Cena briket stejně jako u většiny pevných paliv je dána hmotností či objemem, ovšem cena každého paliva na trhu je stanovena dle jeho energetického obsahu, který uvádíme v $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Výrobní náklady na brikety jsou však nezávislé na jejich výhřevnosti, stejně jako výdaje za dopravu a manipulaci. Výhřevnost lze tedy použít k výpočtu konkurenceschopnosti zpracovaného paliva na trhu. Existuje řada dalších faktorů, jako je snadná manipulace, vlastnosti hoření atd., které také ovlivňují tržní hodnotu, ovšem výhřevnost je pravděpodobně jedním z nejdůležitějších faktorů. Výhřevnost a spalné teplo je značně ovlivněné obsahem vlhkosti, jak je uvedeno na obr. 2.



Obr. 2 Diagram výhřevnosti dřeva [22]

Spalné teplo se od výhřevnosti liší tím, že do množství energie započítává i vodu uvolněnou spalováním, která zkondenzuje. Množství energie tím pádem není sníženo o skupenské teplo. Z toho vyplývá, že energie výhřevnosti, kde se po ukončení spalování uvažuje s vodou v plynném skupenství, musí být nižší než energie spalného tepla. [1]

Pro výpočet výhřevnosti paliva, kde není nezbytné posuzovat veškeré změny množství vody ve vzorku použijeme vztah (2) [61]

$$Q_i^r = Q_s - r(W^r + 8,94H_2) \quad (2)$$

kde:

Q_i^r [kJ·kg⁻¹] – výhřevnost paliva,

Q_s [kJ·kg⁻¹] – spalné teplo,

r [bezrozměrná] – koeficient odpovídající obsahu 1% vody ve vzorku při 25 °C,

W^r [%] – obsah vody v palivu,

H [%] – obsah vodíku v palivu.

U materiálů s nízkým obsahem popela a vlhkostí mezi 10 – 15 %, což je většina briket ze dřeva a zemědělských zbytků, jsou výsledné výhřevnosti v rozmezí 16 – 18 MJ·kg⁻¹. [1]

3.4.3 Spalné teplo

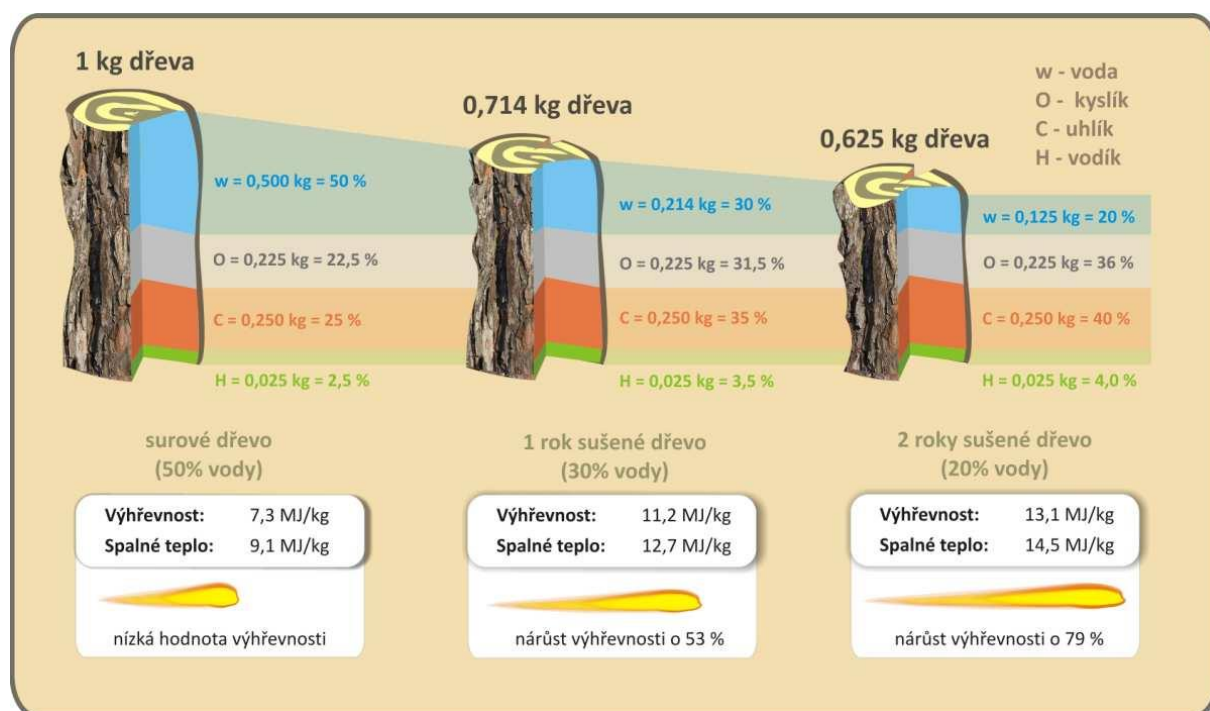
Jedním z nejdůležitějších parametrů biomasy pro energetické využití je hodnota jejího spalného tepla. Spalné teplo je definováno jako teplo, které se uvolní dokonalým spálením 1 kg paliva a následným ochlazením spalin na původní teplotu paliva a kondenzací vodní páry. [22]

Stanovení spalného tepla pomocí kalorimetru (přesný postup a výpočet) je uveden v normě ČSN EN ISO 18125. Je též možné použití automatizovaného kalorimetru. [61]

3.4.4 Obsah vody

Obsah vody patří k nejdůležitějším ukazatelům kvality briket. Pokud není použit odpad z již usušeného dřeva (dřevozpracující průmysl), je nutné před použitím biomasu

částečně vysušit. Obsah vody v briketách zvětšuje objem spalin a tím i komínovou ztrátu při spalování, snižuje spalovací teplotu, prodlužuje dobu zapalování briket, zvyšuje rosný bod (nebezpečí koroze teplosměrných ploch na výměníku kotle). V neposlední řadě může vlhké palivo v zimě až zamrznout. Závislost výhřevnosti a obsahu vody je zobrazena na obr. č. 3. [22] Dle ČSN EN 14961-1 je maximální přípustná vlhkost briket $\leq 10\%$.



Obr. 3 Vztah mezi výhřevností a obsahem vody ve dřevě [22]

Obsah vody (M_{ad}) v briketách se stanovuje sušením v sušárně při teplotě $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ do dosažení konstantní hmotnosti, přičemž obsah vody je vypočten dle hmotnostního úbytku vzorku dle vztahu (3) [24]

$$M_{ad} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \quad (3)$$

kde:

M_{ad} [%] – obsah vody,

m_1 [kg] – hmotnost prázdného plechu na sušení,

m_2 [kg] – hmotnost plechu na sušení se vzorkem před sušením,

m_3 [kg] – hmotnost plechu na sušení se vzorkem po sušení.

3.4.5 Obsah popela

Dalším ukazatelem kvality je obsah popela, dle kterého lze zjistit zbytek biopaliva po spálení. Po rozpuštění popela lze stanovit obsah prvků. Se zvyšujícím obsahem vody a popela se snižuje obsah aktivních prvků a výhřevnost klesá. [22]

Obsah popela je u dřevních briket předepsán normou, která stanovuje maximální obsah 1,5 %. Hodnota obsahu popela je závislá na druhu použité biomasy a pro nedřevní biomasu se může pohybovat až do 10 %. [25]

Obsah popela (A_d) v hm. % se určuje výpočtem hmotnosti po spálení vzorku při teplotě 550 ± 10 °C po minimální dobu 60 minut za přesně stanovených podmínek zkoušky dle vztahu (4) [26]

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \cdot \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (4)$$

kde:

A_d [%] – obsah popela v bezvodném stavu,

m_1 [kg] – hmotnost prázdného kelímku,

m_2 [kg] – hmotnost kelímku se vzorkem,

m_3 [kg] – hmotnost kelímku s popelem,

M_{ad} [%] – obsah vody ve vzorku.

3.4.6 Prchavá hořlavina

Prchavou hořlavinou se rozumí množství plynné látky uvolněné z hořlaviny zahříváním za nepřístupu vzduchu při teplotě 300 – 800 °C. [22] Obsah prchavé hořlaviny je důležitý parametr pro konstrukci spalovacích zařízení. Vysoký podíl prchavé hořlaviny může ovlivnit emise a může tvořit až 80% hmotnosti sušiny paliva. Příklad obsahu prchavé hořlaviny v jednotlivých palivech je zobrazen v tab. 3. [25]

Palivo	V_d [%]	Palivo	V_d [%]
Koks	0 až 5	Hnědé uhlí	45 až 60
Antracit	5 až 10	Rašelina	60 až 73
Černé uhlí	10 až 45	Dřevo	73 až 88

Tab. 3 Obsah prchavé hořlaviny v různých palivech [22]

Obsah prchavé hořlaviny (V_d) v hm. % se stanovuje výpočtem hmotnosti po spálení vzorku při teplotě 900 ± 10 °C bez přístupu okolního vzduchu dle vztahu (5) [27]

$$V_d = \left[\frac{100(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} - M_{ad} \right] \cdot \left(\frac{100}{100 - M_{ad}} \right) \quad (5)$$

kde:

V_d [%] – obsah prchavé hořlaviny

m_1 [kg] – hmotnost prázdného kelímku a víčka,

m_2 [kg] – hmotnost víčka kelímku se vzorkem před zahříváním,

m_3 [kg] – hmotnost víčka kelímku se vzorkem po zahřívání,

M_{ad} [%] – obsah vody ve vzorku.

3.4.7 Emisní charakteristiky

Zužitkování odpadní biomasy v energetice jako obnovitelný zdroj energie přináší mnoho výhod a pomáhá s řešením problémů, týkajících se nikoli jen ekologie, ale i problémů odpovídajících zemědělskému a lesnickému charakteru. Palivo na základě biomasy obsahuje ve složení minimální množství síry a emisí SO_2 . Pokud tedy porovnáme emise vzniklé spalováním fosilních paliv s emisemi vzniklými spalováním biomasy, tak spalování biomasy vychází, co se týká ekologické zátěže mnohem příznivěji. Podle Malat'áka a Passiana [29] lze větší část podroštného popela vzniklého spalováním fytopaliv aplikovat jako hnojivo s žádoucím chemickým složením, co se týče Ca, Mg, K, P. [28] [29]

Emise oxidu uhelnatého jsou charakteristické pro každé spalovací zařízení. Většina spalovacích zařízení produkuje největší emise zejména v průběhu zapálení a zastavení. Nastaví-li se spalovací zařízení na snížení emisí v průběhu zapálení a zastavení, zvyšují se emise během spalování. K vysokým emisím dochází také na konci procesu při zastavení spalovacího zařízení, jelikož palivo ve spalovacím prostoru ještě doutná. Největší emisní koncentrace CO a NO_x vzniká při nastavení velkého množství přebytečného vzduchu. Tato situace má za následek nežádoucí ochlazování spalovacího prostoru. Vlivem ochlazování se také zvyšuje produkce vysokých emisí CO ve spalinách, kvůli kvalitě účinnosti spalování. Účinnost procesu lze zhodnotit dle množství CO_2 . Pokud dosáhneme ideálním nastavením zařízení minimálního přebytku vzduchu, zvýší se koncentrace oxidu uhličitého ve spalinách na maximum. Veškerým palivům, ať už kapalným nebo tuhým, lze stanovit

maximální teoretickou koncentraci CO₂ ve zplodinách nazývanou CO_{2max}. Tato teoretická koncentrace je typická pro každé palivo dle jeho prvkového složení. [28]

Koloničný [30] uvádí, že pokud budeme spalovat biomasu, tak neovlivníme množství CO₂ v ovzduší, protože množství CO₂, které vyprodukuje spálením biomasy, je shodné s množstvím CO₂, které rostliny spotřebovaly při fotosyntéze během růstu. Je třeba vzít v úvahu, že rovnováha platí pouze, co se týká množství CO₂, neboť růst biomasy a fotosyntéza může v některých případech trvat desítky let, ale spálení probíhá okamžitě.

	Dřevo	Hnědé uhlí	Černé uhlí
Emisní faktor CO	1,1 kg.GJ ⁻¹	1,25 kg.GJ ⁻¹	0,7 kg.GJ ⁻¹
Emisní faktor NO_x	120 g.GJ ⁻¹	160 g.GJ ⁻¹	170 g.GJ ⁻¹
Emisní faktor CO₂	0 kg.GJ ⁻¹	81 kg.GJ ⁻¹	91 kg.GJ ⁻¹

Tab. 4 Závislost emisních faktorů na 1 GJ [30]

3.5 Technologie briketování nekovových materiálů

Celý proces briketování je složen z několika základních úkonů, které je v některých případech potřebné provést v celém rozsahu. Existují ale i případy, kdy už některý úkon (více úkonů) byl proveden při zpracování základního materiálu, např. hoblování sušených trámů. Tento materiál je tudíž dezintegrován a usušený.

3.5.1 Sušení

Nejvhodnějším odpadem k briketování je především odpadní biomasa, dále pak papírový a textilní odpad. Je však třeba všechny tyto odpadní suroviny nejprve upravit tak, aby byla zaručena výsledná kvalita briket. Dosažení optimální vlhkosti s hodnotou 10 ± 2 % pomocí sušení je jedním z velmi důležitých technologických kroků. Použije-li se k briketování materiál s vyšší vlhkostí, může dojít ke snížení kvality paliva, tj. sníží se výhřevnost a měrná hmotnost. Také dochází k nedokonalému spalování uvnitř spalovacího zařízení a tvorbě větších emisí, kyselého prostředí a dehtu. Tyto negativní vlastnosti vlhkého paliva se dále projevují na větší tvorbě usazenin ve spalovacím zařízení a kouřovodu, což vede k následným finančním nákladům na údržbu spalovací soustavy. [36]

Sušení surovin je důležité i pro následné skladování. Pokud by biomasa nebyla vhodně upravena a vysušena, během několika dní by došlo k nežádoucím biodegradabilním jevům, které následnou surovinu znehodnotí a znemožní briketování. Nadměrná vlhkost briket vede k nízké tvarové stabilitě a k jejich předčasnému rozpadu při skladování. [37]

Metody sušení dělíme:

- Pasivní metody sušení jsou nejlevnějším způsobem úpravy vlhkosti suroviny přibližně na hodnotu 25 – 30 %. Tento způsob se využívá k vysušení zejména surové biomasy s vlhkostí nad hranicí 45 %. Pasivní sušárny se používají jako první stupeň vysušení suroviny, a to především díky nízkým provozním nákladům při relativně vysoké vlhkosti. Samotný proces sušení probíhá v prostoru vystavenému slunečnímu záření, zabraňujícím vnikání vody do vznikající sušiny a se zajištěným prouděním vzduchu, aby uvolněná vlhkost mohla z prostor snadno uniknout. [37]
- Aktivní metody sušení využívají k vysušení suroviny na optimální hodnotu vlhkosti vnější zdroj energie, který má však značný vliv na ekonomiku provozu a zvyšuje tak náklady na vyrobený produkt. Jedná se např. o pásové sušící zařízení, rourovou sušičku či šnekovou sesypnou sušičku. [37]

3.5.2 Dezintegrace

Druhým technologickým krokem zpracování biomasy na brikety je dezintegrace. Při dezintegraci dochází vedle homogenizace a zvýšení objemové hmotnosti k přípravě materiálu jako vstupní suroviny pro další využití. Rozdružený materiál ve stavu štěpky, drtě atd. je lépe využitelný k energetickým i neenergetickým účelům. [38]

Jedná se o poměrně energeticky náročný proces, který se obvykle spojuje s jinými operacemi, příkladem může být sklizeň rostlin sklízecí rezačkou. Při přejezdu konvenční sklízecí rezačky sklízeným porostem se oddělí sklízená část rostliny, která je následně dopravena do řezacího ústrojí, kde proběhne její dezintegrace. Vzniklá řezanka je poté dopravena do dopravního prostředku. Podobné postupy jsou výhodné z energetického, logistického i technologického hlediska. Podobným způsobem je výhodné dezintegraci

provádět ve spojení s jinými operacemi (údržba a likvidace porostů, doprava, skladování, homogenizace směsi atd.). [38]

Z hlediska chemických a fyzikálně-mechanických vlastností je naprostá většina rostlinné biomasy zpracovávána pomocí drtičů, štěpkovačů a řezaček. Vlastnosti rostlin se vzájemně liší díky příslušnosti k různým druhům, ale rozdílné vlastnosti mají i jednotlivé části rostliny. Různé vlastnosti rostlin a odlišné způsoby jejich využití jsou hlavním důvodem, proč je v praxi využití konkrétního dezintegračního zařízení více nebo méně vhodné. Při dezintegraci rostlinných surovin na bázi bylin jsou nejčastěji používaným zařízením řezačky. Při dezintegraci na malé částice (tzv. jemné dezintegraci; například při přípravě směsí před lisováním tuhých biopaliv) jsou nejčastěji používány drtiče nebo speciální štěpkovače. [38]

3.5.3 Briketování

Technologii briketování lze rozdělit do dvou základních skupin [31]:

- bez pojiva:
 - suchou směsí při nízké teplotě vysokým tlakem,
 - suchou směsí při bertinizační karbonizační teplotě nízkým tlakem (bertinizační teplota 200 – 375 °C, při které je odpařena voda a nehořlavé plyny, prach se stává plastičtější),
 - mokrou směsí nízkým tlakem;
- nízkým tlakem s pojivem:
 - anorganickým (cement, jílovitá hlína, vápno a podobně),
 - organickým nehygroskopickým (dehet, asfalt),
 - organickým hygroskopickým (mouka, melasa, škrob atd.).

Briketovatelnost a technologie briketování těžkých surovin, průmyslových odpadů a jiných různých materiálů je ovlivněna jejich určitými vlastnostmi. Volba způsobu briketování tedy závisí na struktuře, zrnitosti a mechanických a fyzikálně chemických vlastnostech složení briketovacího materiálu. [1]

Při briketování dřevního odpadu se tento materiál využitím vysokého tlaku zhutní do celistvého tvaru. Tato technologie pracuje bez přidaného pojiva. Využívá pouze

pryskyřice obsažené v původním materiálu. Působením vysokého tlaku 40 – 100 MPa vzniká teplo, které uvolňuje lignin z buněčné struktury dřeva. Lignin následně plastifikuje a tím spojí jednotlivé částičky do celistvé brikety. Při technologii briketování bez přidaných pojiv dochází k přiblížení částic na nejnižší molekulovou vzdálenost.

Při briketování bez pojiv dojde k uspořádání jednotlivých částiček na minimální molekulovou vzdálenost, kde jsou již efektivní Van der Waalovy síly. Toto zmíněné uspořádání molekul je možné pouze při působení velmi vysokého tlaku. [39]

3.6 Briketovací lisy

Briketovací lisy patří mezi nejdůležitější stroje zpracovávající biomasu na trvalou formu paliva, schopnou dopravy na velké vzdálenosti, optimální pro skladování nebo pro automatické přikládání do kotlů a různých topenišť. Briketovací lisy mají různou výkonnost, lisy vhodné pro menší výroby o kapacitě $0,1 \text{ t} \cdot \text{hod}^{-1}$, až po výkonnost $5 \text{ t} \cdot \text{hod}^{-1}$ pro velké provozovny navazující na elektrárny a teplárny. [40]

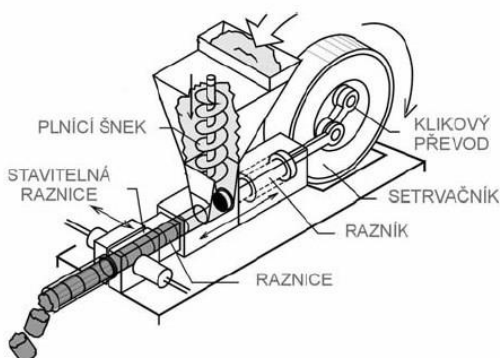
3.6.1 Mechanické lisy

Mechanický lis využívá funkci klikového mechanismu. Díky setrvačnickům je mimo interval lisování brikety akumulována mechanická energie, která je následně využita při stlačení brikety. Lisovací komoru opouští brikety přibližně stejné délky, jelikož klikový mechanismus musí vykonat při každém cyklu totožnou délku pohybu (obr. 4). Tento typ lisů pracuje s nejvyššími tlaky. Výkonnost mechanického lisu je $1000 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$. Je možné vyrábět brikety ve tvaru válce nebo šestihranu, případně brikety s vnitřním otvorem. [41]

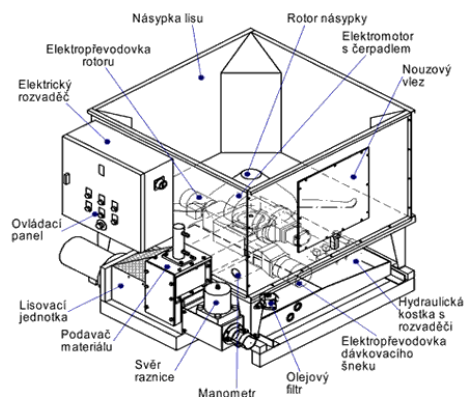
3.6.2 Hydraulické lisy

Technologie briketování hydraulickým lisem (obr. 5) využívá nižší tlak v lisovací komoře oproti mechanickým lisům. V porovnání s mechanickým lisem mají také menší výkonnost. Z menších lisovacích tlaků vyplývá, menší zhutnění materiálu a také nižší soudržnost briket. Brikety vyrobené v hydraulickém lisu jsou pro přepravu méně vhodné než z mechanického briketovacího lisu. Pořizovací cena je na rozdíl od mechanických lisů

nižší. Výkonnost hydraulického lisu bývá mezi $50 - 500 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}$. Jejich využití je vhodné zejména v dřevozpracovatelském průmyslu.[41]



Obr. 4 Mechanický lis na brikety [41]



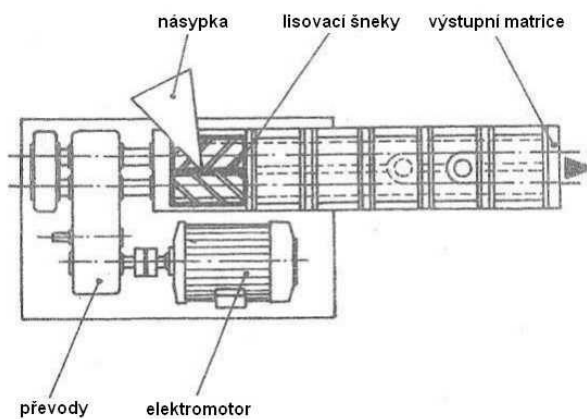
Obr. 5 Hydraulický lis [41]

3.6.3 Šnekové lisy

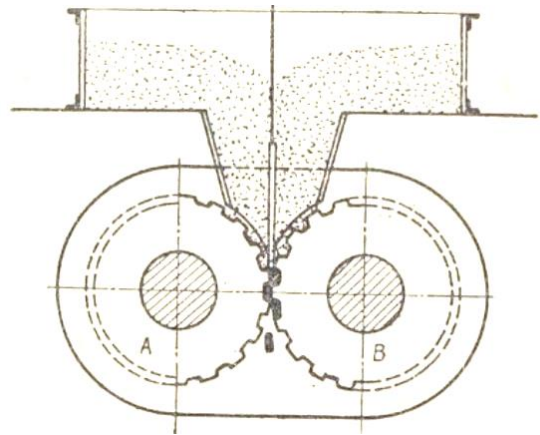
Princip šnekového lisu je otáčení šroubovice v kuželové lisovací komoře, díky kterému vzniká tlak potřebný pro briketování (obr. 6). Jelikož tření materiálu o šnek a při průchodu komorou ohřívá lignin v materiálu, je soudržnost briket velmi dobrá, protože lignin působí jako pojivo. Brikety vyrobené ve šnekovém lisu jsou z vnějšku chráněné ztuhlým ligninem podobajícím se parafínu. Dá se říci, že se jedná o částečnou povrchovou úpravu, která do určité míry zabraňuje navlhnutí briket. Výkonnost šnekového lisu je přibližně $500 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}$. Výsledná briketa je nekonečná, dělená na požadovanou délku a má válcový tvar s dírou uprostřed. Nevýhoda těchto lisů jsou časté servisní intervaly lisovacího ústrojí. [41]

3.6.4 Válcové lisy

Funkce válcového lisu spočívá v tom, že se proti sobě otáčejí dva válce, které mají na povrchu dutiny formované do požadovaného tvaru brikety (obr. 7). Rozteč válců je nastavena pomocí hydrauliky. Toto nastavení zároveň slouží jako ochrana ústrojí lisu proti poškození nestlačitelným objektem, např. příměsí ve formě nerostů, oceli apod. Výkonnost válcových lisů je přímo úměrná povrchu válců, objemu dutiny a počtu otáček za minutu. Válcové lisy jsou využívány především pro zpracování uhelného prachu a ze všech zmíněných lisů mají největší produktivitu. [42]



Obr. 6 Šnekový lis [41]



Obr. 7 Válcový lis [42]

3.6.5 Briketovací linky

Briketovací linky (obr. 8) již patří k profesionálním lisům ve velkých provozech. Příkladem jsou briketovací linky Brisur od firmy Briklis. Linky vždy vyžadují obsluhu. Briketovací linka zahrnuje drtící linku, sušárnu, jeden nebo více briketovacích lisů a rotační stojan pro balení briket. Výkon linek se pohybuje od 200 do 1000 kg·hod⁻¹ a celkový příkon může dosahovat až 200 kW. Mezi hlavní výhody briketovacích linek patří velký výběr výkonů a příslušenství, snadné přizpůsobení výrobním prostorům, nízké opotřebení, nízké náklady na údržbu, nízká spotřeba elektrické energie, automatizované řízení dopravníků, atestované a certifikované zařízení, snadná obsluha a rychlý servis. Nevýhoda briketovací linky je vyšší cena, tím i zvýšená doba návratnosti investice, větší servisní náklady, ale především nutnost odstavit linku při poruše nebo např. zanesení každého z oddílů briketovací linky. [43]



Obr. 8 Briketovací linka firmy Briklis [43]

3.7 Materiály pro briketování

Briketování spalitelných odpadů je technologie, při které dochází k zušlechtnění vstupní suroviny pro její další energetické využití.

3.7.1 Rozdělení a zpracování

Klasifikace biomasy jako vstupního materiálu pro briketování na základě vlastností dělí materiály na:

- dřevo a dřevěné palivo (tvrdé a měkké dřevo, dřevo z demolic),
- bylinná paliva (sláma, traviny, stopky atd.),
- odpady (kaly z ČOV, odpady – výroba paliva),
- deriváty (odpad z papíru a potravinářského průmyslu apod.),
- vodní (řasy atd.),
- energetické plodiny (speciálně pěstovány pro energetické účely).

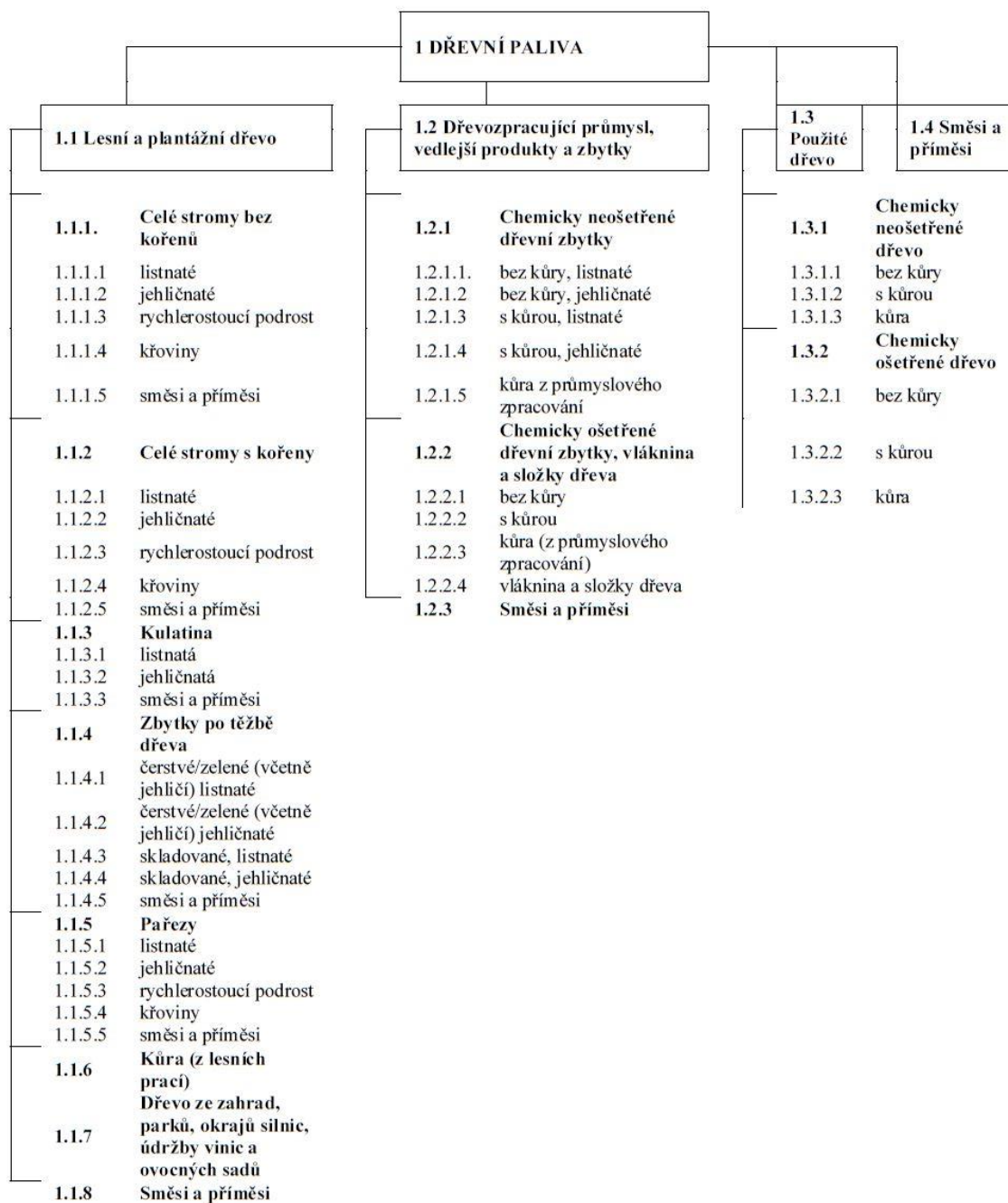
Z hlediska energetického využití lze produkci biomasy rozdělit na:

- záměrně pěstované rostliny pro energetické využití,
- odpady ze zemědělské, potravinářské, lesní produkce, druhotné suroviny.

Vzhledem k rozdílnosti paliv z biomasy se vlastnosti v těchto kategoriích liší v širokém rozsahu. Proto se dnes používá novější klasifikace dle původu a zdroje materiálu. Základní rozdělení je dáno normou ČSN EN ISO 17225-1 [44] na dřevní biomasu, bylinnou biomasu, ovocnou biomasu, vodní biomasu, homogenní směsi a heterogenní směsi.

3.7.2 Dřevo

Dřevo je díky své snadné dostupnosti, skladování a příznivé ceně velice oblíbeným a ekologicky šetrným zdrojem energie. Dřevní odpad a jeho využití jako palivo se velice složitě definuje. Dřevo a dřevní odpady mají různou vlhkost, formu, výhřevnost a popelnatost. S tím jsou spojeny i různé nároky na skladování, dopravu a samotnou konstrukci spalovacího zařízení. Klasifikace dřevních paliv je uvedena v tab. 5. [47]

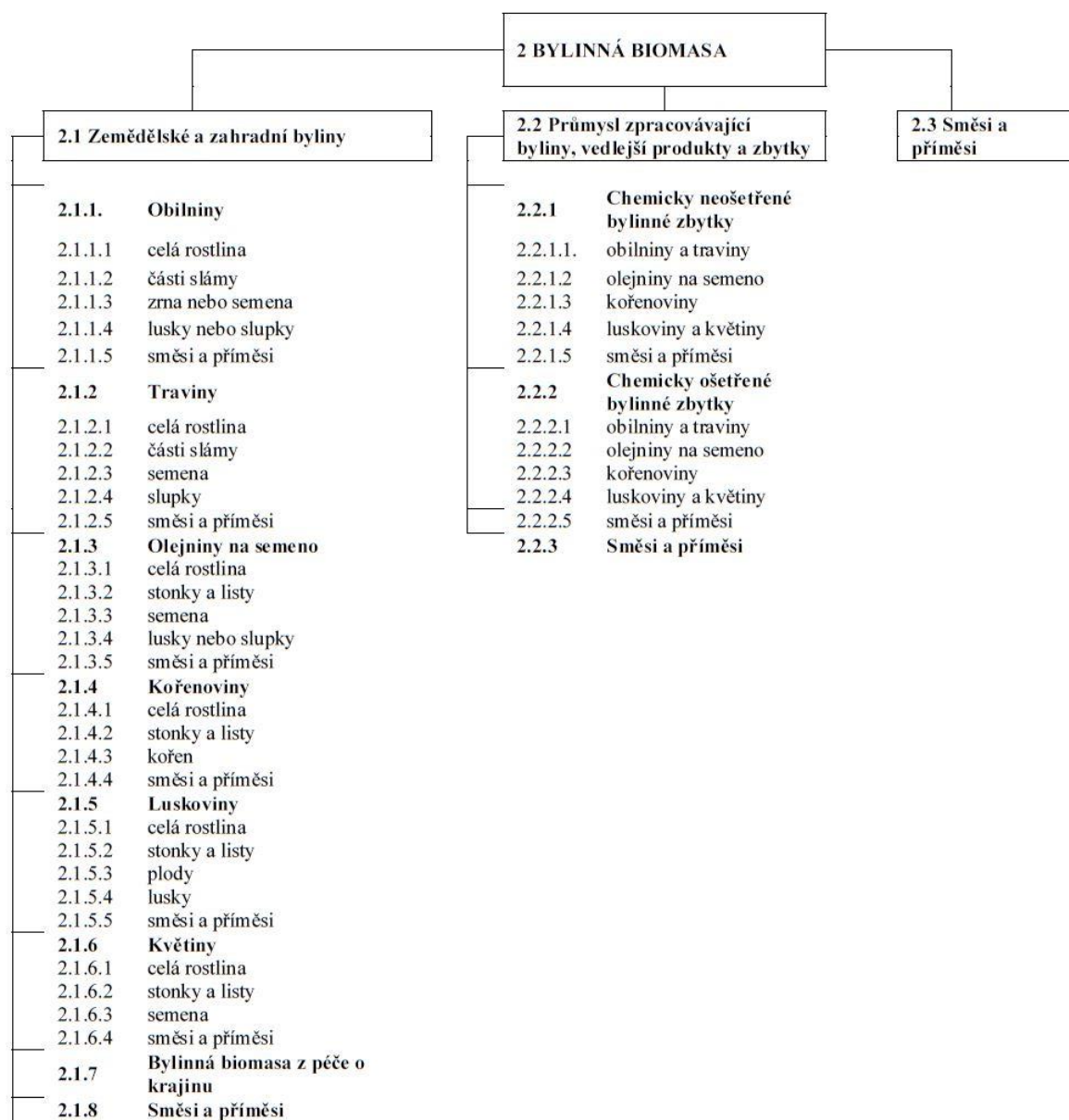


Tab. 5 Klasifikace dřevních paliv [44; 11]

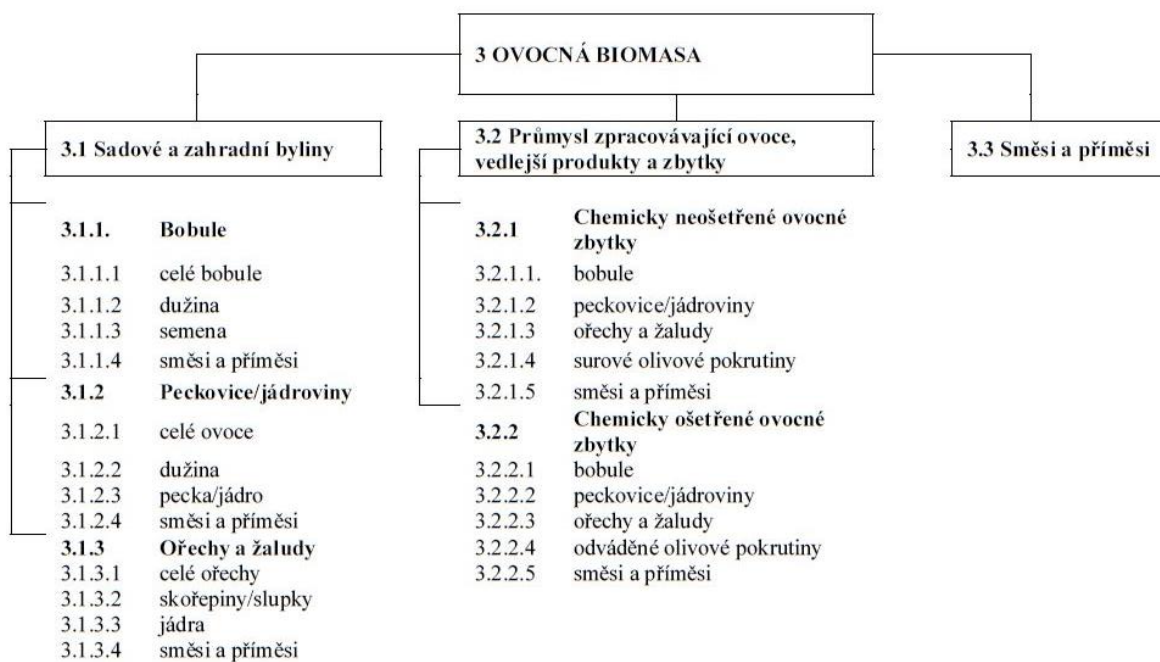
3.7.3 Biomasa

Biomasa jako vstupní materiál pro výrobní řetězec chemických látek, paliv a materiálů pro kosmetiku a farmaceutický průmysl, je v přírodě neustále obnovována. Níže

jsou uvedeny klasifikace bylinné biomasy (tab. 6) a klasifikace ovocné biomasy (tab. 7) na základě původu a zdroje.



Tab. 6 Klasifikace bylinné biomasy [44; 11]



Tab. 7 Klasifikace ovocné biomasy [44; 11]

3.7.4 Odpad ze zemědělství

Zbytková biomasa je v našich podmínkách převážně snadno dostupná a levná forma paliva. Obvykle je tedy prvním a zatím také hlavním zdrojem biopaliv v existujících nebo budovaných výtopenách a kotelnách na spalování biomasy. [45]

Odpady ze zemědělství, zejména obilná sláma, mají široké uplatnění a jejich energetické využití se také u nás začíná rozšiřovat. Častou námitkou proti spalování je, že veškerá sláma, která v daném roce na polích rostla, musí přijít zpátky do půdy jako hnojivo. Ve skutečnosti je ve slámě velmi málo živin. V současnosti s využívaným zaoráním za účelem obohacení půdy humusem má význam jedině na těžších půdách, jinak jen při současném hnojení kejdou nebo jiným dusíkatým hnojivem. Řepková sláma se svojí výhřevností $15 - 17,5 \text{ GJ} \cdot \text{t}^{-1}$ přibližuje lepším druhům hnědému uhlí. Není pro ni prakticky jiné využití než v energetice. [45]

3.7.5 Energetické rostliny

Poměrně novým zdrojem biomasy jsou porosty tzv. energetických rostlin. Jedná se o botanické druhy dřevin, trvalek a bylin, jejich kultivary a odrůdy, přírodní a záměrní

kříženci. Jejich růst a zejména roční objemová produkce $t \cdot ha^{-1}$ při intenzivním pěstování výrazně převyšuje průměrné hodnoty ostatních plodin ve sledované oblasti. [45]

Všeobecně můžeme tvrdit, že většího ekonomického nebo energetického efektu dosáhneme pěstováním rostlin víceletých a vytrvalých než tradičních jednoletých. [46]

Hlavní výhodou energetických rostlin jsou vysoké výnosy a sklizeň běžnými zemědělskými stroji. Patří sem např. šťovík, ozdobnice čínská, řepka olejná, slunečnice, brambory, cukrová řepa, křídlatka či konopí seté. Pěstování těchto plodin je rozdílné převážně v následném využití. Oproti plodinám určeným pro potravinářský průmysl, které jsou pěstovány za účelem vysokého podílu živin, jsou tyto energetické rostliny pěstovány pro vysoký výnos hmoty. [45]

Pro příklad je uveden „energetický“ šťovík. Pokud aplikujeme vhodný pěstitelský postup, můžeme od krmného šťovíku očekávat vysoký výnos fytomasy, kterou lze použít jako obnovitelný zdroj energie. Dostatečný výnos bez opětovného založení lze očekávat po dobu několika let.

Jako další příklad Součková a Moudrý [46] uvádí, že se v poslední době, kvůli vysokým výnosům fytomasy zamýšlí využití křídlatky (*Reynoutria*) jako paliva pro získávání energie. V Japonsku dosahují výnosů sušiny $12 - 27 t \cdot ha^{-1}$, v našich klimatických podmínkách je pravděpodobně možné dosáhnout totožných výnosů fytomasy.

3.7.6 Lesní a plantážové dřevo

Lesní a plantážové dřevo zahrnuje dřevo z lesů, parků, zahrad, plantáží a plantáží s rychleschnoucími dřevinami a rychleschnoucí dřeviny. Tento typ dřeva lze upravit pouze zmenšením velikosti částic, odkorněním, sušením nebo zvlhčením. [44]

3.7.7 Vedlejší produkty dřevozpracujícího průmyslu

Do této kategorie patří vedlejší dřevní produkty a dřevní zbytky z dřevozpracujícího průmyslu, jako jsou chemicky neupravené dřevní zbytky (např. z odstranění kůry, řezání či zmenšení velikosti, tvarování stromů, lisování) či chemicky upravené dřevní zbytky ze zpracování dřeva a výroby desek a nábytku (upravené lepidlem, barvou, nátěrem, lakem). Všechny takové zbytky nesmí obsahovat těžké kovy či halogenované organické sloučeniny, které jsou výsledkem úpravy konzervačními prostředky na dřevo nebo nátěry. [44]

3.7.8 Použité dřevo

V této kategorii je zahrnut dřevní odpad od zákazníků a společností. Jedná se o původní nebo pouze mechanicky zpracované dřevo, znečištěné pouze na malé ploše během používání látkami, které nelze běžně nalézt ve dřevě v jeho přirozeném stavu (např. palety, transportní bedny, krabice, dřevěné obaly, bubny na kabely, stavební dřevo). Při zpracování se uplatňují stejná kritéria jako u vedlejších produktů dřevozpracujícího průmyslu, tj. použité dřevo nesmí obsahovat těžké kovy ve větším množství než původní dřevo nebo halogenované organické sloučeniny, které jsou výsledkem úprav konzervačními prostředky na dřevo nebo nátěry. [44]

3.7.9 Rychle rostoucí dřeviny

Poměrně novým zdrojem biomasy jsou porosty speciálních plodin na zemědělské půdě, jejichž cílem je záměrná produkce biomasy k energetickému nebo i průmyslovému využití. Rychle rostoucí dřeviny, případně klony dřevin dosahují vysokého výnosu nadzemní biomasy v krátkém obmýtí 3 – 6 let s životností 20 – 35 let. [45] Plantáže rychle rostoucích dřevin jsou výhodné z hlediska zpracování pro následné využití, protože je dříví soustředěno na jednom místě, čímž se usnadní jeho zpracování. Nejčastějším způsobem zpracování je štěpkování na štěpku určité délky. U plantáží rychle rostoucích dřevin dle délky obmýtí se v našich podmínkách nejvíce uplatní mini rotace, tzn. že délka obrůstání obmýtí je 5 – 6 let, kdy se při průměru kmene cca 10 cm může docílit v příznivých

podmínkách průměrný roční výnos 10 – 20 tun hmoty v absolutní sušině z plochy 1 ha. [46]

3.8 *Skladování briket*

Brožek [2] uvádí, že existují tři faktory, které ovlivňují dlouhodobou skladovací stabilitu briket. Prvním je skladovací prostor briket (uzavřená vytápěná či nevytápěná místnost), druhým je způsob skladování (plastový pytel, plastový síťový pytel) a třetím pak doba skladování, přičemž největší vliv má způsob skladování. Brožek [2] dále uvádí, že brikety by měly být vždy skladovány v nepropustných dobře uzavřených plastových nádobách. Pokud jsou brikety od výrobce dodány v různých obalech nebo dokonce volně ložené, je nutné je neprodleně převést do vhodných obalů. Pouze tímto způsobem je možné zaručit jejich požadované vlastnosti, včetně skladování po dobu minimálně čtyř let. Při zkoušce trvanlivosti vzorky nejevily ani po čtyřech letech téměř žádnou degradaci. [5; 2]

Nejen z hlediska bezpečnosti, ale také z hlediska zachování kvality briket je nutné skladovat brikety v suchých a uzavřených prostorech, v bezpečné vzdálenosti od lehce zápalných látek a zdroje zapálení. Při správném skladování mají brikety prakticky neomezenou dobu skladovatelnosti. Při skladování ve vlhkém prostředí nebo při přímém kontaktu s vodou dochází k nabobtnání briket a jejich postupnému rozpadu na piliny. [48] Pokud jsou piliny navlhle a nacházejí se ve velkých hromadách, mají sklon k samozahřívání a následnému samovznícení. [49]

Při manipulaci může dojít k tvorbě briketových třísek, zlomků a pilin, které jsou z hlediska skladování považovány za prach, a právě prach může být příčinou jeho samovznícení. Způsoby skladování tuhých paliv, kontrola správného skladování a bezpečnostní požadavky jsou uvedeny v normě ČSN 44 1315. [50]

4 Praktická část

V následující kapitole jsou shrnuty použité postupy měření. Dále jsou zde prezentovány výsledky měření jednotlivých materiálů.

4.1 Lisování briket

Česká zemědělská univerzita v Praze má k dispozici na technické fakultě mimo jiné briketovací lis BrikStar 30 – 12 (obr. 9) o následujících parametrech (tab. 8).

Povolená vlhkost vstupního materiálu:	8 – 15 hmotnostních %
Hustota vylisované brikety:	900 – 1100 kg·m ⁻³
Výkonnost	20 – 40 kg·hod ⁻¹
Objem násypky	1 m ³
Maximální provozní tlak hydraulického systému:	18 MPa
Maximální provozní teplota:	60 °C
Teplota pracovního prostředí stroje:	5 – 35 °C
Průměr lisovací komory:	50 mm
Elektrický příkon:	4400 W
Napájecí napětí:	400 V

Tab. 8 Parametry BrikStar 30 – 12 [54]



Obr. 9 Briketovací lis BrikStar 30 – 12 [53]

Výroba briket byla provedena na výše uvedeném stroji. Vzorkové brikety byly vyhotoveny celkem ze sedmi odlišných materiálů. Zhotovené brikety z těchto materiálů byly podrobeny měření a výpočtu hustoty, mechanické zkoušce pevnosti, mechanické zkoušce odolnosti a měření vlhkosti. Byly vytvořeny brikety pomocí lisovací komory o průměru 50 mm. Volba materiálů byla dle možností (dostupnosti materiálů) a doporučení vedoucího diplomové práce.

4.2 Postupy měření

V následující kapitole jsou popsány jednotlivé postupy měření a experimentů. Měření probíhalo podle metodiky a pokynů školitele.

4.2.1 Postup měření hustoty briket

V první řadě bylo vybráno po 65 vzorcích od každého materiálu. Vybraným vzorkům bylo přiřazeno číslo kvůli znemožnění záměny jednotlivých kusů. Jednotlivé vzorky byly zváženy, byl změřen průměr a výška jednotlivých kusů. Vzorky byly váženy digitální vahou OHAUS CL 500 g s přesností na 0,1g a měřeny digitálním posuvným měřítkem Mitutoyo 500-311 s přesností na 0,01mm.

Následně byl vypočten objem pomocí vztahu (6)

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4} \quad (6)$$

kde:

V [m³] – objem,

π – konstanta,

d [m] – průměr brikety,

h [m] – výška brikety.

Poměrem objemu a hmotnosti byla vypočtena měrná hustota pomocí vztahu (7)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (7)$$

kde:

ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] – hustota,

m [kg] – hmotnost brikety,

V [m^3] – objem brikety.

4.2.2 Postup měření mechanické pevnosti

Brikety byly zkoušeny pomocí univerzálního zkušebního stroje ZDM 5 se silovým rozsahem 0 – 50000 N. Zkoušená briketa byla umístěna naležato mezi desky zkušebního stroje (obr. 10). Následně byl zkušební stroj uveden do provozu a briketa byla stlačována mezi matricí a lisovací nástroj. Posuv nástroje činí $6 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Vzorek byl stlačován, dokud nedošlo k lomu brikety přes celou její strukturu. Následně byla ze stupnice odečtena hodnota lomové síly. Jelikož tato hodnota není kvůli rozdílné délce vzorků vypovídající, bylo potřeba vypočítat redukovanou sílu (F_r) potřebnou k porušení brikety o výšce 1 mm pomocí vztahu (8)

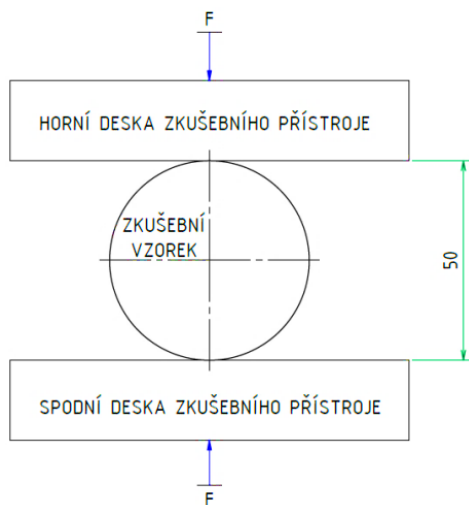
$$F_r = \frac{F}{h} \quad (8)$$

kde:

F_r [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$] – redukovaná lomová síla,

F [N] – naměřená síla,

h [mm] – výška brikety.



Obr. 10 Princip zkoušení mechanické pevnosti

Zpracování naměřených hodnot proběhlo pomocí tabulkového procesoru MS Excel, kde byl vypočítán aritmetický průměr pomocí vztahu (9)

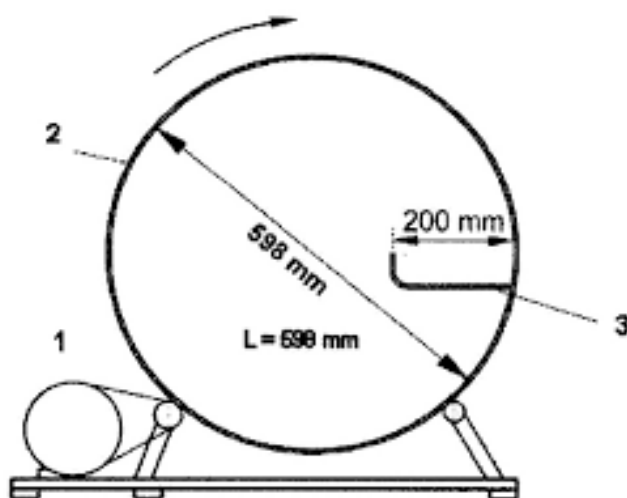
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (9)$$

a směrodatná odchylka pomocí vztahu (10).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

4.2.3 Postup měření mechanické odolnosti

Brikety byly testovány dle normy ČSN EN ISO 17831-2 Tuhá biopaliva – Stanovení mechanické odolnosti pelet a briket – Část 2: Brikety. Technická fakulta disponuje zkušebním zařízením pro stanovení mechanické odolnosti briket (obr. 11) zapsaným na úřadě průmyslového vlastnictví pod číslem PVZ 2012-39320 a splňujícím požadavky výše zmíněné normy. Zkouška probíhá výběrem různorodých briket zbavených nečistot v celkové hmotnosti 4000 ± 100 g. Brikety jsou zváženy a vloženy do vyčištěné komory. Po uzavření komory je spuštěno zařízení po dobu 5 minut při 21 ± 1 ot·min⁻¹. Nepoškozené brikety vyndáme z komory a provedeme nové vážení.



Obr. 11 Schéma zařízení pro stanovení mechanické odolnosti briket [55]

1 – motor, 2 – buben, 3 – přepážka

4.2.4 Postup měření vlhkosti briket

Pro zkoušku vlhkosti byly použity vzorky z předešlé zkoušky mechanické odolnosti. Výstup měření je uveden v procentech hmotnosti. Postup uveden v kapitole 3.4.4.

4.3 Vyhodnocení měření – jednotlivé materiály

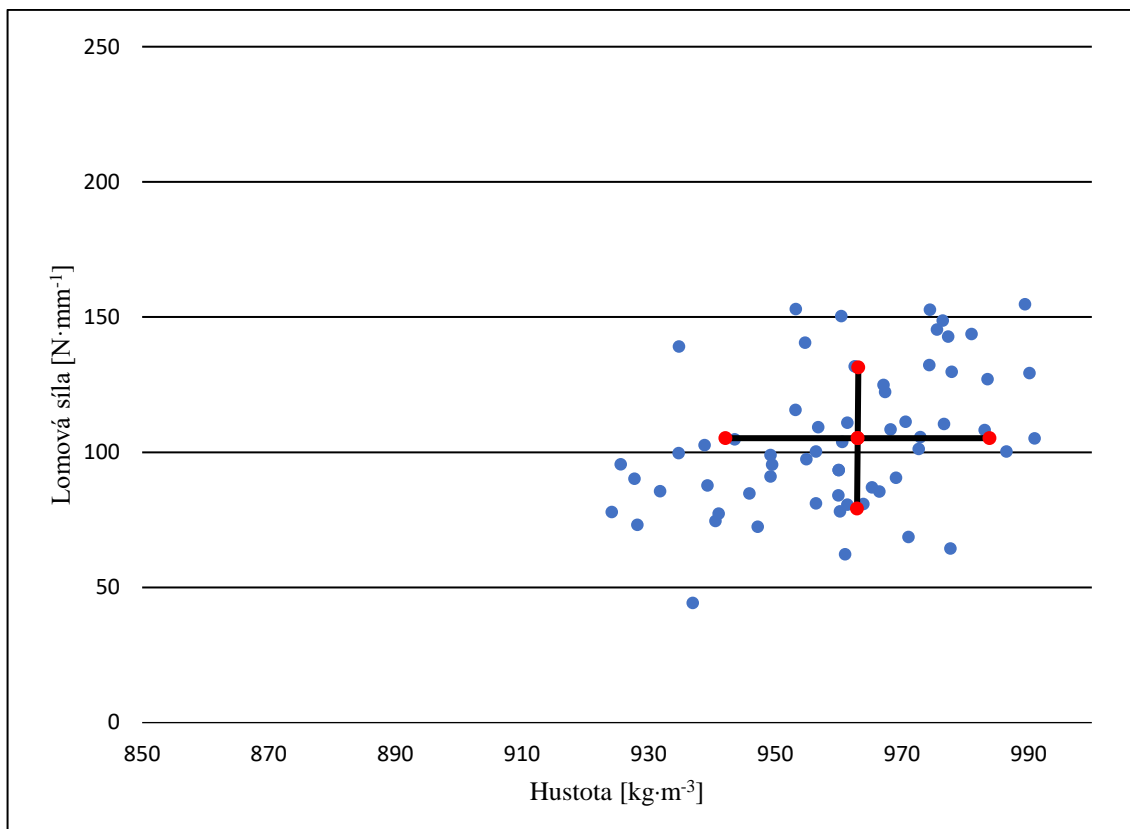
V následujících podkapitolách jsou shrnuty výsledky měřených a vypočtených hodnot do bloků obsahujících slovní komentář. Dále je v každé podkapitole uveden graf zobrazující závislost lomové síly na hustotě viz kapitola 2.1.3.

4.3.1 Tavoľník

Okrasná rostlina tavoľník vykazovala při měření nejvyšší hustotu ze všech vzorků. Byla naměřena hustota $963 \pm 20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Klasifikace pásma hustoty dle ČSN EN ISO 17225-1 je DE0.9. Zároveň při měření hustoty byla vypočtena nejmenší směrodatná odchylka. Můžeme tedy tvrdit, že se jednalo o nejhomonennější brikety, vzhledem k měrné hmotnosti. Lomová síla byla naměřena $105 \pm 26 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$. Při měření lomové síly vznikla velká odchylka vlivem struktury materiálu, díky které nebylo vizuálně zcela patrné, kdy přesně prasklina vzniká (obr. 12). Při měření mechanické odolnosti tavoľník vykazoval odolnost $96,9 \pm 0,1 \%$, čímž zapadá do třídy mechanické odolnosti DU95.0. Mechanická odolnost byla naměřena jako jedna z nejvyšších. Zároveň se jednalo o jedno z nepřesnějších měření odolnosti s nejnižší směrodatnou odchylkou. Vlhkost byla naměřena $10,1 \pm 0,3 \%$. Závislost lomové síly na měrné hmotnosti je znázorněna v grafu 1.



Obr. 12 Vzorek tavoľník



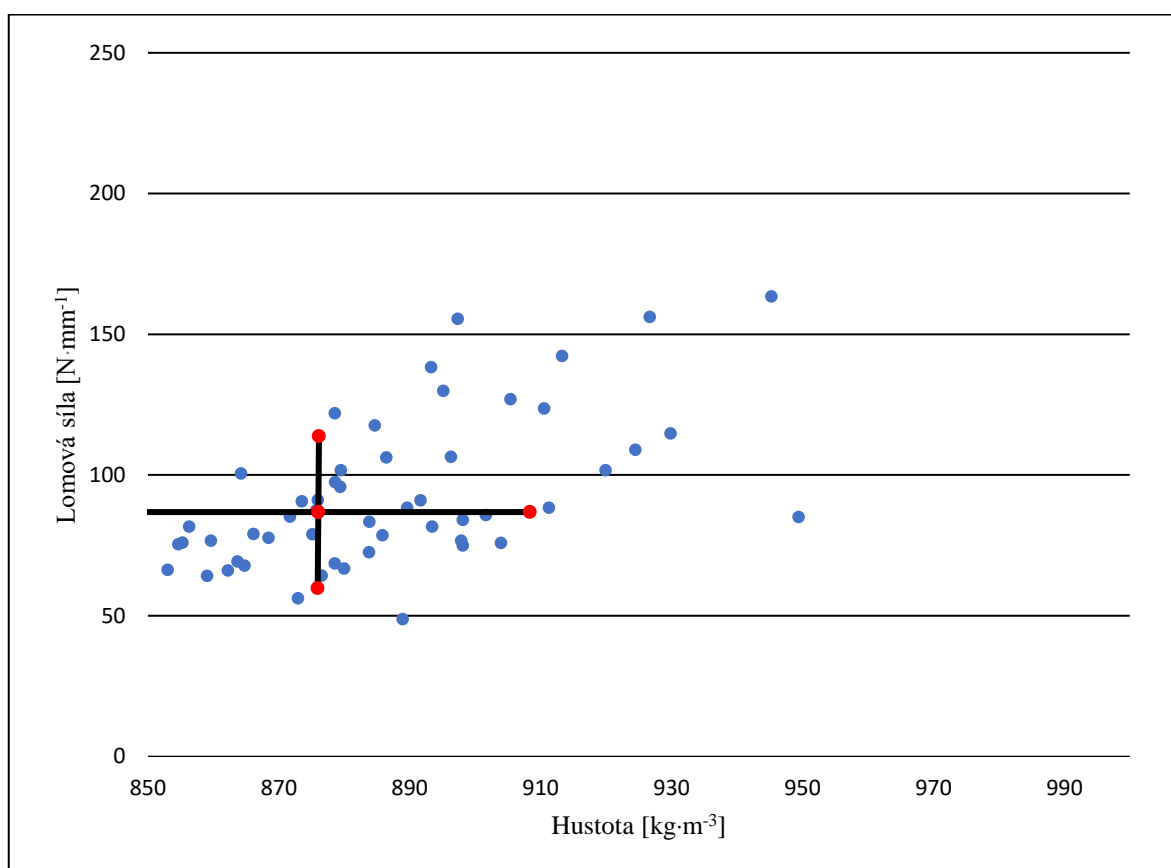
Graf 1 Závislost lomové síly na měrné hmotnosti – tavolník

4.3.2 Růže

Další okrasná rostlina růže měla ze všech materiálů naměřenou nejmenší hustotu $876 \pm 32 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Klasifikace pásma hustoty dle ČSN EN ISO 17225-1 je DE0.8. Zároveň byla při měření zjištěna jedna z nejvyšších směrodatných odchylek, která ovšem při měření hustoty značí rozdílné hustoty jednotlivých vzorků, protože toto měření je díky použití digitálních měřicích přístrojů průkazné. Jedná se o jediný materiál, který nesplnil směrnici ministerstva životního prostředí č. 14-2006, co se týká minimální požadované hustoty briket $900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato anomálie může být způsobena nejvyšší naměřenou vlhkostí materiálu $11,3 \pm 0,04 \%$, kdy se mohou tvořit vzduchové kapsy vlivem vznikající páry při stlačování. Mechanická odolnost byla naměřena $94,2 \pm 0,2 \%$, čímž zapadá do třídy mechanické odolnosti DU90.0. Lomová síla byla naměřena $87 \pm 27 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$. Velký rozptyl při měření lomové síly je dán strukturou materiálu. Materiál se prvně začínal bortit a až poté docházelo k prasklině (obr. 13). Vzhledem k nízké měrné hmotnosti byla hodnota mechanické odolnosti relativně vysoká. Závislost lomové síly na měrné hmotnosti je znázorněna v grafu 2.



Obr. 13 Vzorek růže



Graf 2 Závislost lomové síly na měrné hmotnosti – růže

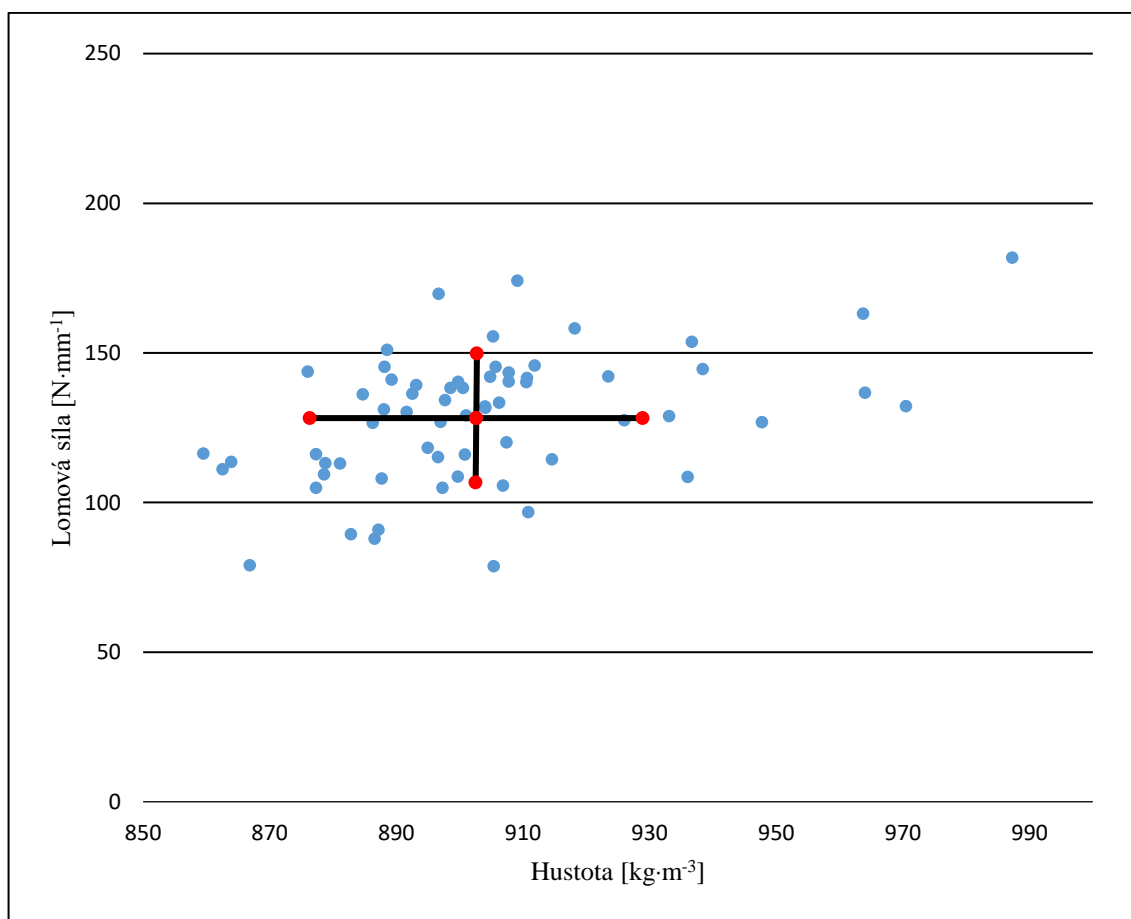
4.3.3 Bříza

Listnatý strom bříza splnil výrobní parametry hustoty briketovacího lisu při spodní hranici. Naměřená hodnota byla $903 \pm 26 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Klasifikace pásma hustoty dle ČSN EN ISO 17225-1 je DE0.9. Oproti tomu při měření lomové síly vykazovala druhou nejvyšší hodnotu $128 \pm 21 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$. U břízy bylo náročné rozpoznat, kdy vzniká prasklina, protože před prasknutím byl vzorek oproti ostatním materiálům více zploštěn (obr. 14).

Mechanická odolnost byla naměřena $93,5 \pm 0,2$ %. Třída mechanické odolnosti je tedy DU90.0. Vlhkost materiálu byla naměřena $9,7 \pm 0,6$ %. Závislost lomové síly na měrné hmotnosti je znázorněna v grafu 3.



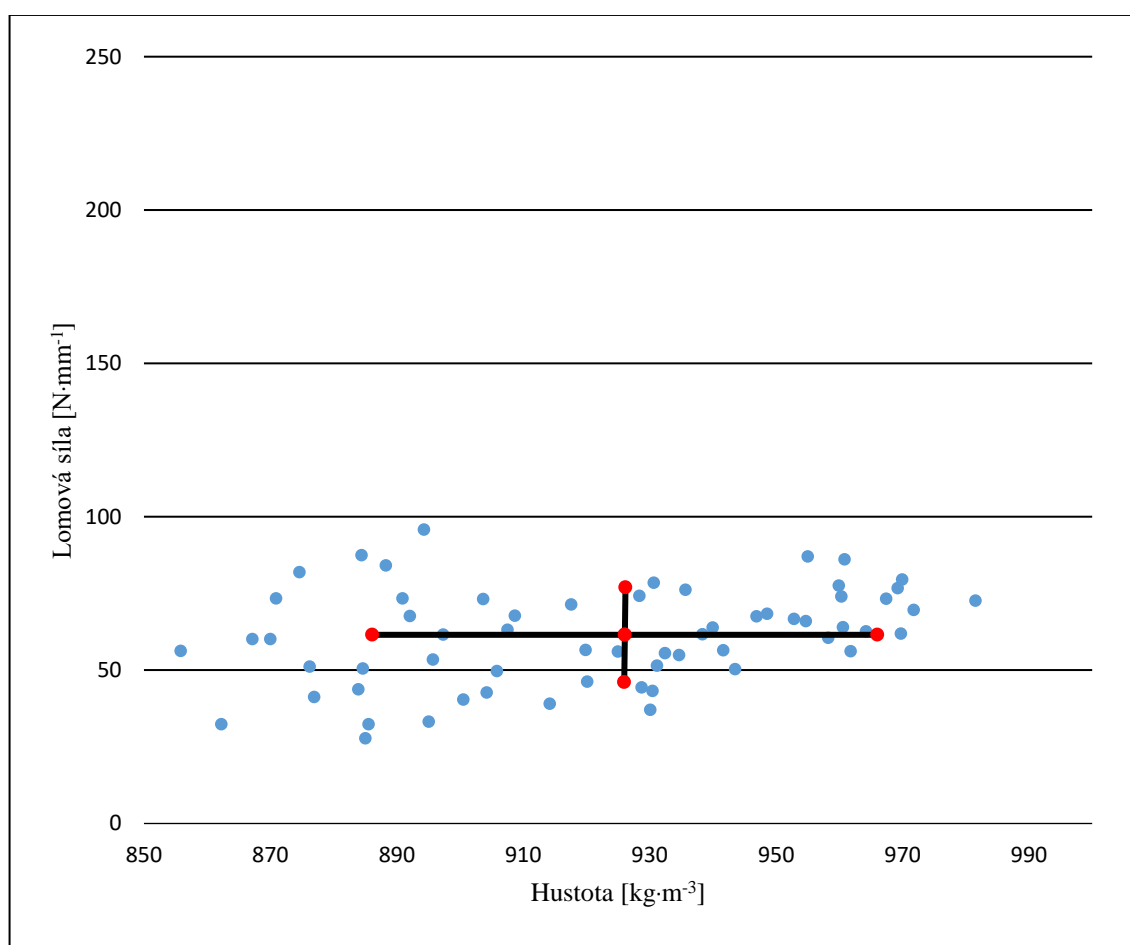
Obr. 14 Vzorek bříza



Graf 3 Závislost lomové síly na měrné hmotnosti – bříza

4.3.4 Topol osika

Rychle rostoucí dřevina topol osika potvrdil předpoklady pro měkkou dřevinu. Byla u něj naměřena nejmenší mechanická odolnost $90,8 \pm 0,2$ %, čímž zapadá do třídy mechanické odolnosti DU90.0. Malá mechanická odolnost může souviset s nízkou hustotou a nejnižší naměřenou vlhkostí $9,4 \pm 0,4$ %. Hustota byla naměřena 926 ± 39 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Klasifikace pásma hustoty dle ČSN EN ISO 17225-1 je DE0.9. Překvapivě se nejedná o nejlehčí měřený materiál, ovšem rozptyl naměřených hodnot hustoty zde byl nejvyšší ze všech vzorků. Nejedná se o chybovost v procesu měření, ale o rozdílně slisované vzorky. Při měření lomové síly topol osika dosáhl taktéž jedné z nejnižších hodnot 60 ± 18 $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$. Povedlo se naměřit celkem přesné hodnoty, jelikož u tohoto materiálu byla dobře vidět začínající prasklina při zkoušce tlakem (obr. 15). Závislost lomové síly na měrné hmotnosti je znázorněna v grafu 4.



Graf 4 Závislost lomové síly na měrné hmotnosti – topol osika



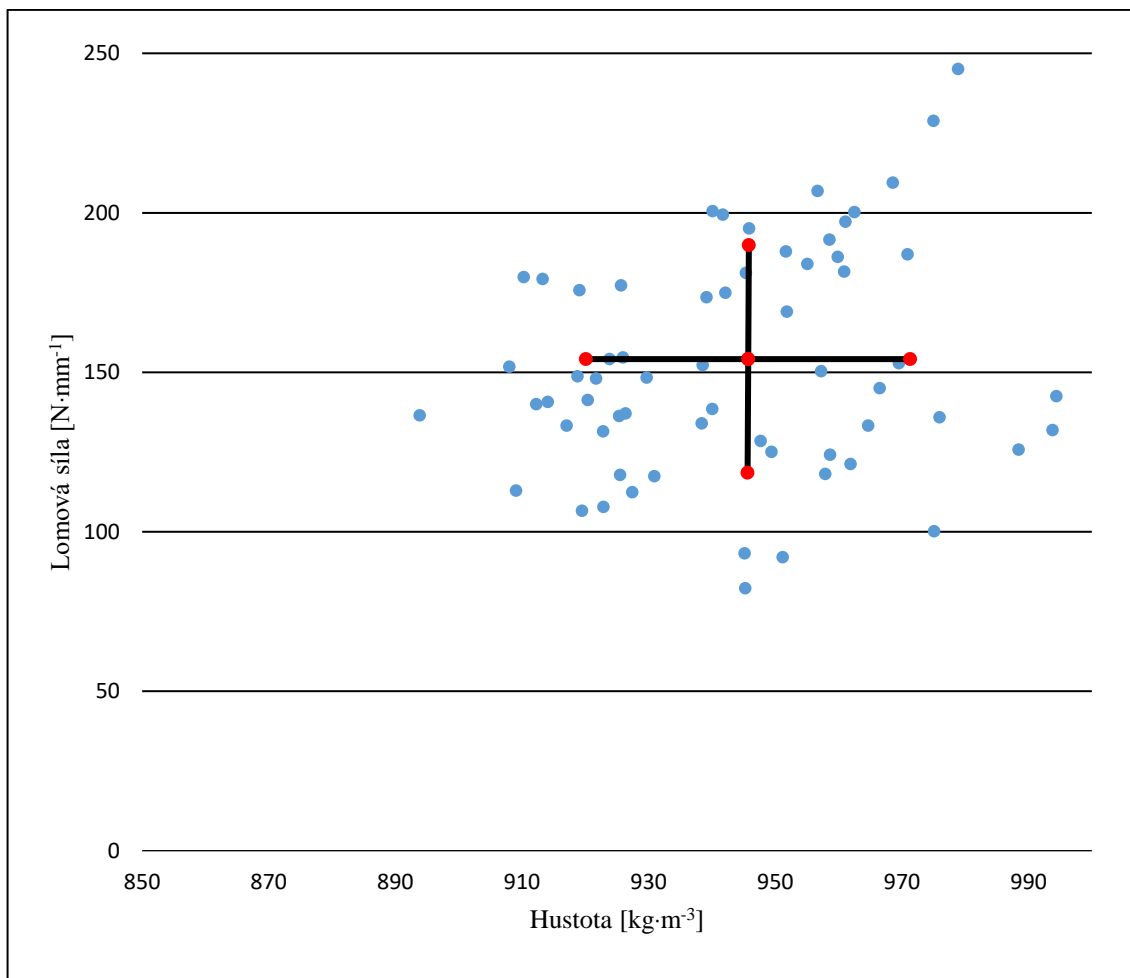
Obr. 15 Vzorek topol osika

4.3.5 Olivovník

Tento stálezelený strom vykazoval absolutně nejvyšší mechanickou pevnost. Byla naměřena lomová síla $154 \pm 35 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$, kde byla také vypočtena největší směrodatná odchylka ze všech měření. Došlo k tomu díky struktuře dřeviny, která komplikovala vizuální rozpoznání vzniku trhliny (obr. 16). Zároveň byla naměřena absolutně nejvyšší mechanická odolnost $98,3 \pm 0,1 \%$ ze všech testovaných materiálů. Olivovník splňuje požadavky třídy mechanické odolnosti DU95.0. Můžeme tedy tvrdit, co se týká mechanických vlastností, že olivovník ze všech testovaných materiálů vykazuje nejlepší hodnoty. Hustota byla naměřena $946 \pm 25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Klasifikace pásma hustoty dle ČSN EN ISO 17225-1 je DE0.9. Vlhkost materiálu byla naměřena $10,7 \pm 0,9 \%$. Závislost lomové síly na měrné hmotnosti je znázorněna v grafu 5.



Obr. 16 Vzorek olivovník



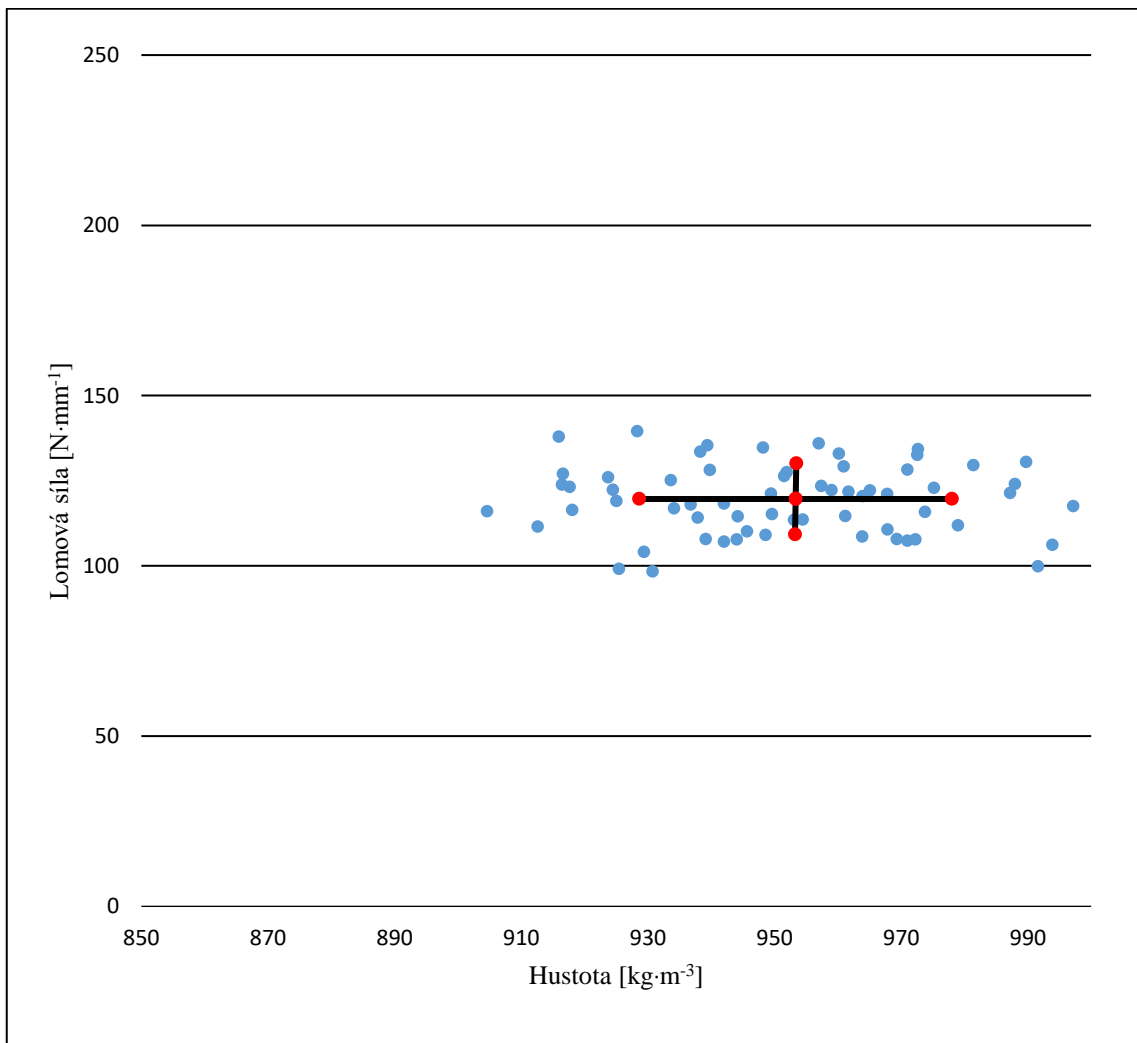
Graf 5 Závislost lomové síly na měrné hmotnosti – olivovník

4.3.6 Borovice – hobliny

První zkoušený materiál z dřevozpracovatelského průmyslu jsou borovicové hobliny. Byla naměřena hustota $953 \pm 24 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Klasifikace pásma hustoty dle ČSN EN ISO 17225-1. Mechanická odolnost byla naměřena $97,9 \pm 0,3 \%$. Jedná se tedy o materiál s druhou nejvyšší odolností hned po olivovníku, jenž splňuje hodnoty třídy mechanické odolnosti DU95.0. Lomová síla byla naměřena $120 \pm 10 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$. Vzhledem ke struktuře materiálu bylo vizuálně velmi snadné určit, kdy přesně dochází ke vzniku praskliny (obr. 17). Vlhkost byla naměřena $10,3 \pm 0,01 \%$. Závislost lomové síly na měrné hmotnosti je znázorněna v grafu 6.



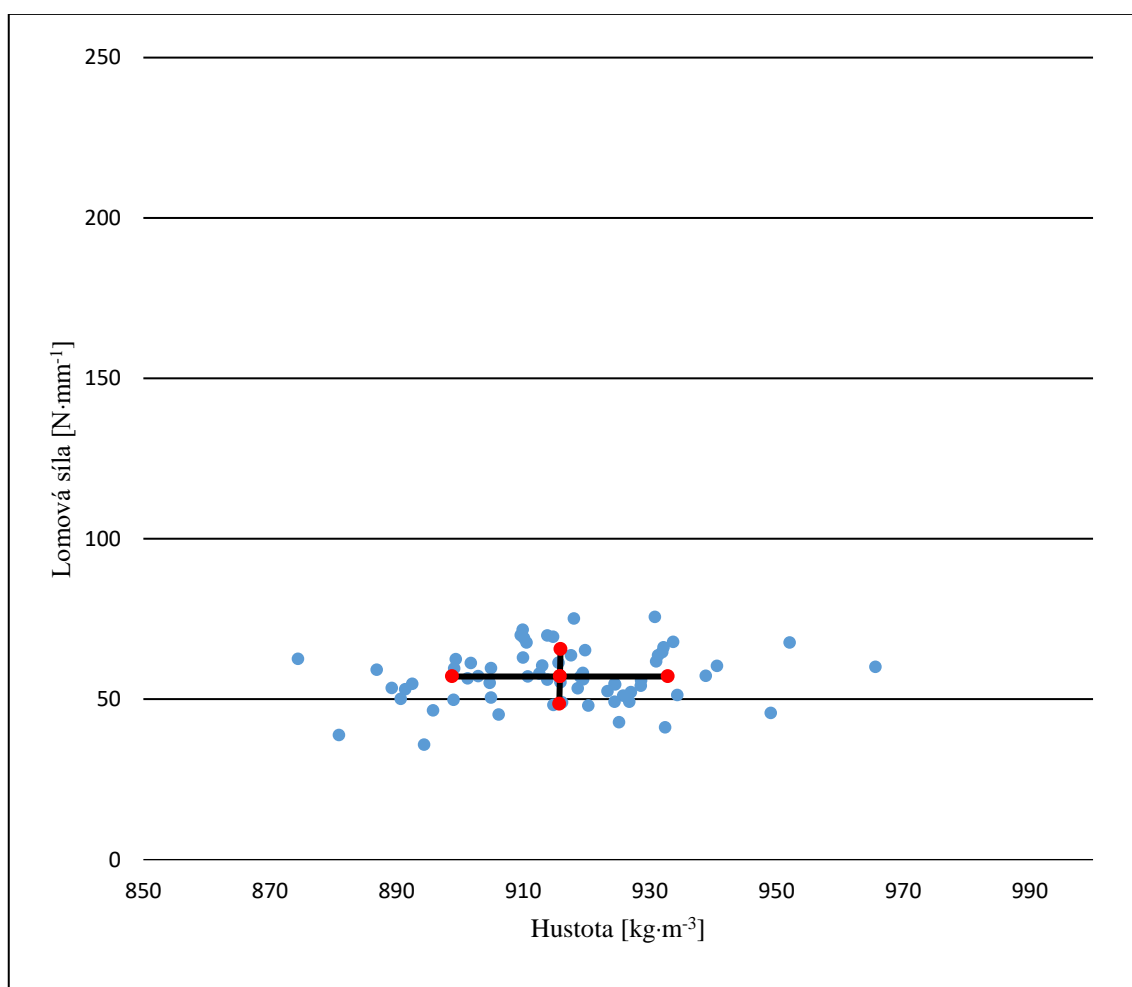
Obr. 17 Vzorek borovice hobliny



Graf 6 Závislost lomové síly na měrné hmotnosti – borovicové hobliny

4.3.7 Smrk – piliny

Druhý zkoušený materiál dřevozpracovatelského průmyslu jsou smrkové piliny. Piliny vznikají třískovým dělením materiálu, kde vzniklá tříska nese název pilina. Piliny ze všech zkoušených materiálů vykazovaly naprosto nejmenší mechanickou pevnost. Lomová síla byla naměřena pouhých $57 \pm 8 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$. U tohoto materiálu byla vypočtena nejmenší směrodatná odchylka, protože v porovnání s ostatními materiály bylo velmi dobře vizuálně rozpoznatelné prasknutí vzorku (obr. 18). Smrkové piliny měly naměřenou hustotu $919 \pm 28 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Klasifikace pásma hustoty dle ČSN EN ISO 17225-1 je DE0.9. Mechanická odolnost byla naměřena $91,1 \pm 0,5 \%$, čímž zapadá do třídy mechanické odolnosti DU9.0. Jedná se o druhou nejmenší mechanickou odolnost. Vlhkost byla naměřena $10,3 \pm 0,01 \%$. Závislost lomové síly na měrné hmotnosti je znázorněna v grafu 7.



Graf 7 Závislost lomové síly na měrné hmotnosti – smrkové piliny



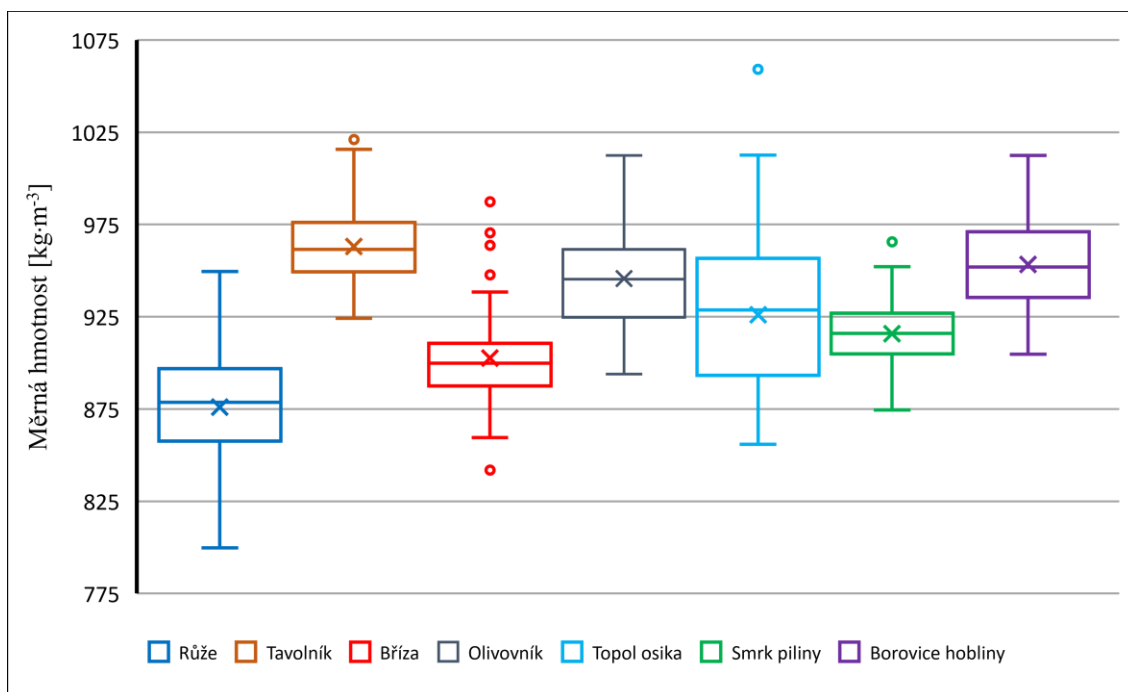
Obr. 18 Vzor piliny smrk

4.4 Vyhodnocení měření – porovnání materiálů

V následujících podkapitolách jsou porovnány naměřené hodnoty měrné hmotnosti, mechanické pevnosti, vlhkosti, mechanické odolnosti a měřené fyzikální vlastnosti jednotlivých briket průřezem materiálů.

4.4.1 Měrná hmotnost

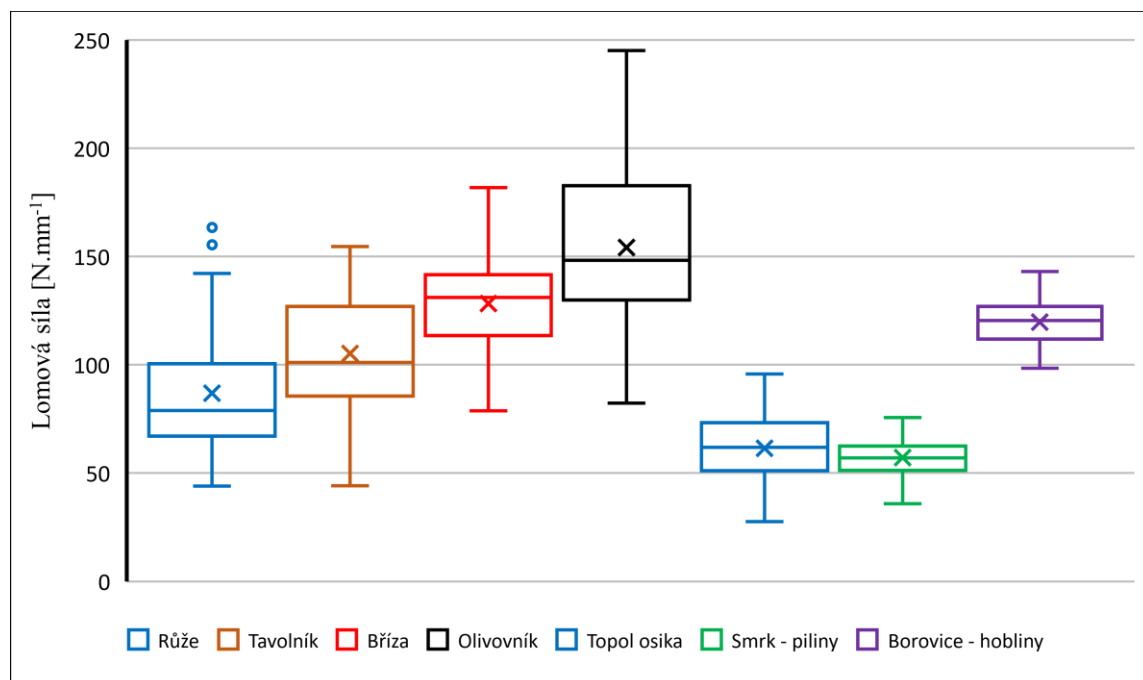
V krabicovém grafu 8 je zobrazen rozsah naměřených hodnot, dále jsou zobrazeny kvartily (25 %, 50 % (nazývaný medián), 75 %), kdy \bar{x} značí průměrnou hodnotu a odlehlé hodnoty jsou značeny tečkou. Odlehlé hodnoty zkreslují statistické vyhodnocení. Rozdíl mezi aritmetickým průměrem a mediánem je u všech zkoušených vzorků nepatrný, nejmarkantnější je u břízy, kde bylo zaznamenáno nejvíce odlehlých hodnot, které ovlivnily aritmetický průměr.



Graf 8 Měrná hmotnost – krabicový diagram

4.4.2 Lomová síla

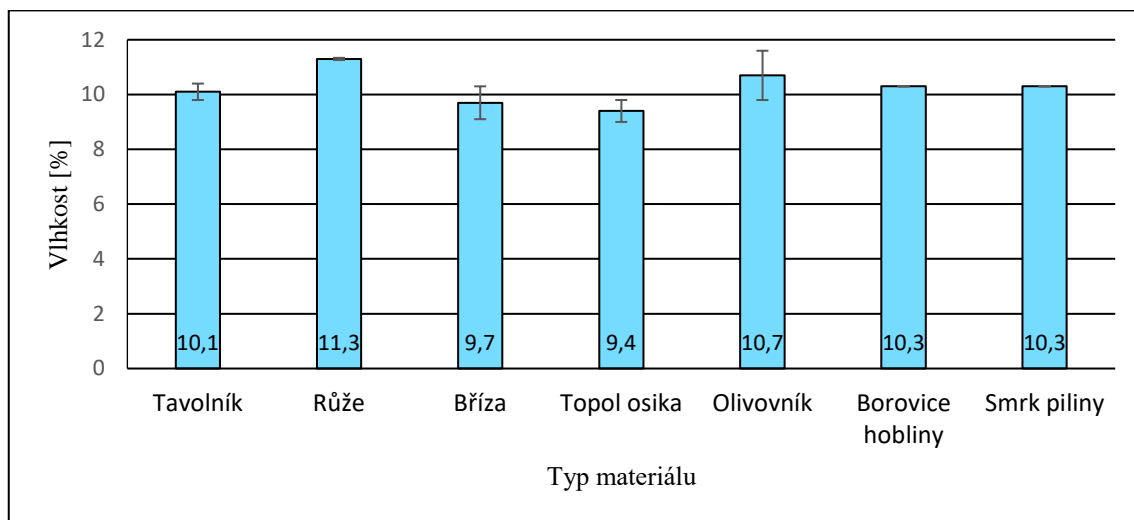
Souhrn naměřených/vypočtených hodnot a porovnání lomové síly je zobrazen v krabicovém grafu 9.



Graf 9 Lomová síla – krabicový diagram

4.4.3 Vlhkost

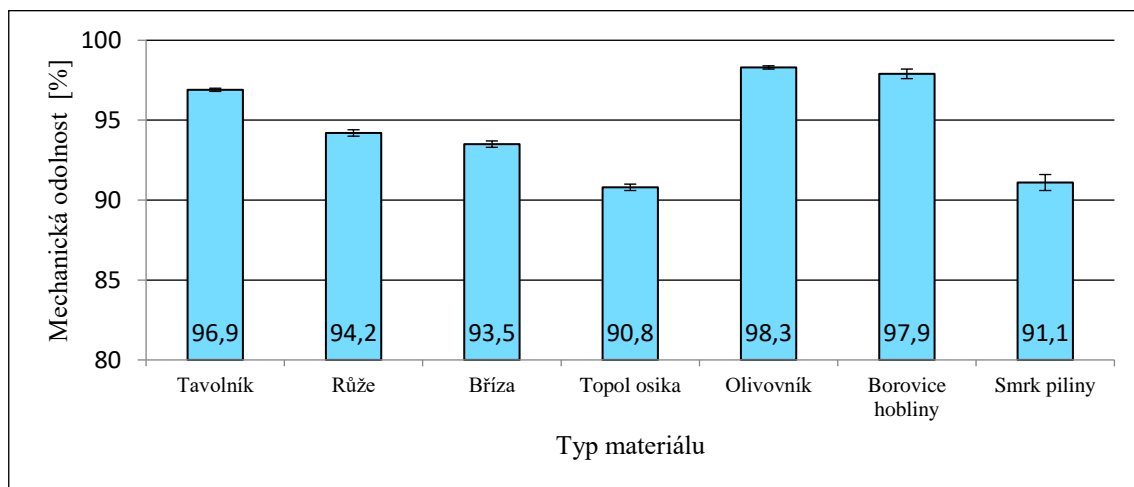
Naměřená vlhkost je zaznamenána v grafu 10. U všech materiálů byla naměřena vlhkost 10 ± 2 %, která je ideální pro výrobu briket, a proto můžeme tvrdit, že vzorky byly vyrobeny za ideálních podmínek, co se týká vlhkosti vstupního materiálu. Toto bohužel nemůžeme tvrdit v rámci technické normy ČSN EN ISO 17225-1, která požaduje vlhkost briket maximálně 10 %. Tento požadavek splnily brikety z břízy a topolu osika.



Graf 10 Vlhkost

4.4.4 Mechanická odolnost

Měření mechanické odolnosti je shrnuto v grafu 11. Z grafu je patrné, že nejvyšší třídě DU95.0 vyhovují 3 materiály – tavlínek, olivovník, borovicové hobliny.



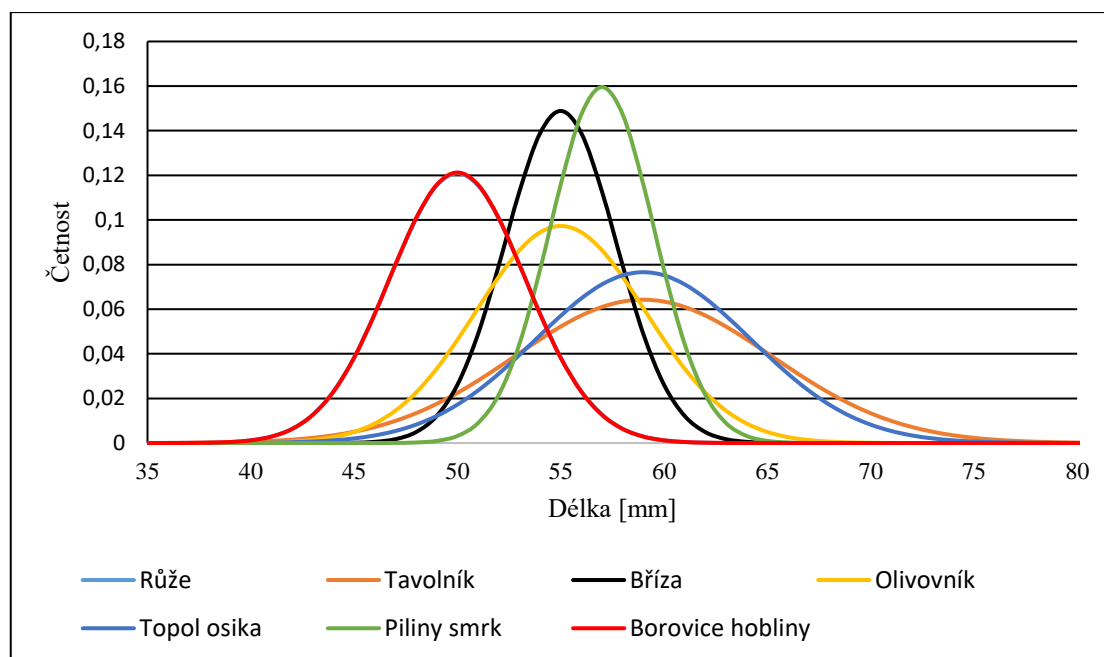
Graf 11 Mechanická odolnost

4.4.5 Fyzikální vlastnosti briket

V následující podkapitole jsou shrnuty naměřené hodnoty jednotlivých vzorků, ze kterých byly získány vypočtené hodnoty v textovém popisu jednotlivých materiálů. Výsledky jsou prezentovány pomocí grafů Gaussovského (normálního) rozložení. Grafy byly vytvořeny z vypočtených hodnot aritmetických průměrů a směrodatných odchylek. Toto vyhodnocení je velmi zajímavé a vypovídající ohledně průřezu jednotlivých měření. Všechny grafy v této kapitole mají na vodorovné ose vynesena rozsah naměřených hodnot materiálů a slouží k porovnání četnosti naměřených hodnot. Na svislé ose je schematicky vynesena četnost jednotlivých hodnot.

Délka

Normální rozložení délky jednotlivých vzorků je zobrazeno v grafu 12. K vytvoření briket nejhomonennější délky je ze zkoušených materiálů vhodné použít smrkové piliny nebo břízu. Tento parametr neovlivňuje kvalitu briket, má pouze estetický efekt.

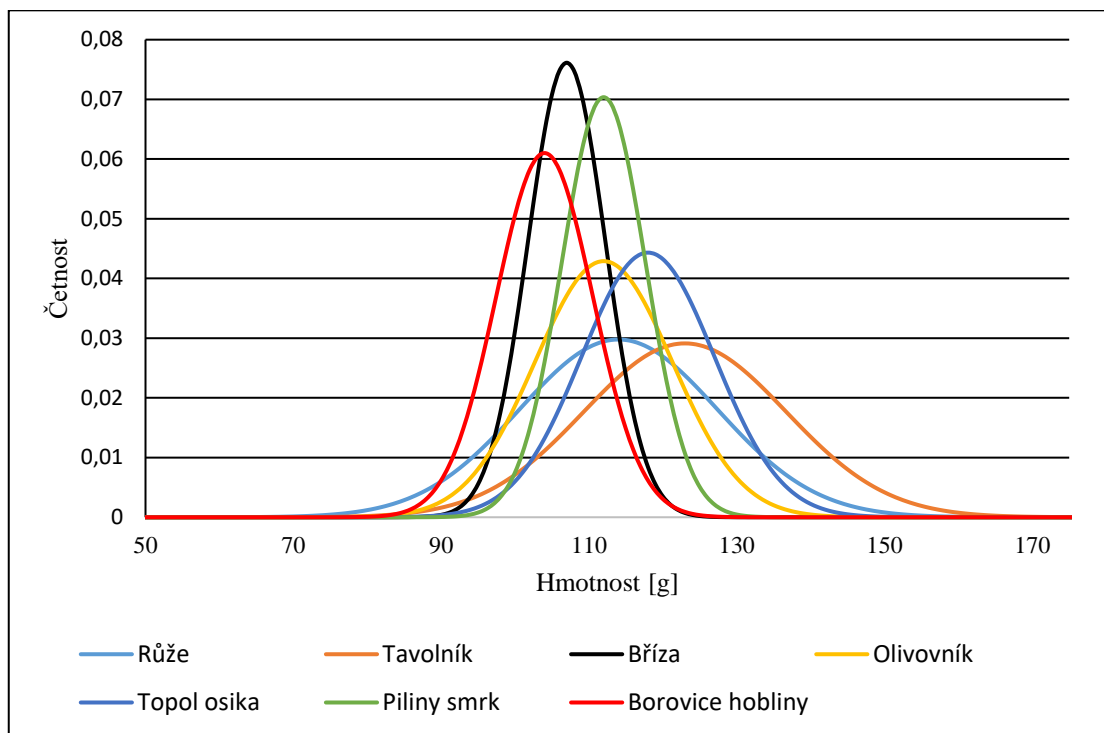


Graf 12 Normální rozložení – délka

Hmotnost

V grafu č. 13 je znázorněno rozložení hmotnosti průřezem vzorků. Brikety z břízy, smrkových pilin a borovicových hoblin mají hmotnost jednotlivých kusů v malém

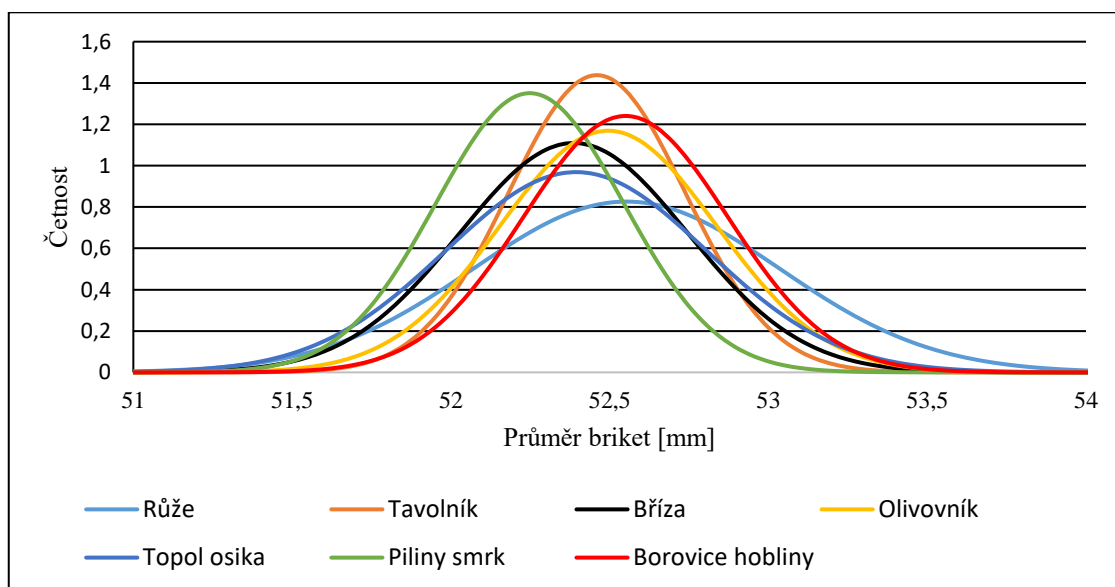
rozptylu. Brikety z růže a tavalníku nejsou, co se týká hmotnosti homogenní. Tento parametr ovšem není pro kvalitu briket příliš podstatný.



Graf 13 Normální rozložení – hmotnost

Průměr

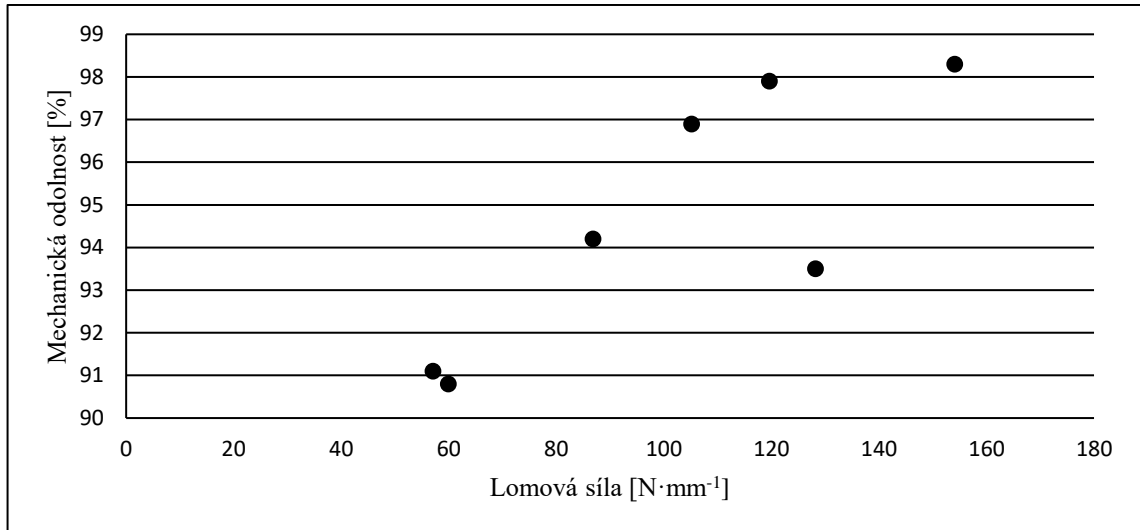
Při měření bylo zjištěno, že z každého materiálu vytváří lis brikety odlišného průměru, přestože pro výrobu veškerých briket byl použit lis s průměrem lisovací komory 50 mm (graf 14).



Graf 14 Normální rozložení – průměr

4.4.6 Závislost mechanické odolnosti na mechanické pevnosti

V následujícím grafu 15 je znázorněn průběh závislosti mechanické odolnosti na mechanické pevnosti průřezem jednotlivých materiálů. Tato závislost byla zkoumána v rámci zhodnocení třetího cíle viz kapitola 5.3.



Graf 15 Závislost mechanické odolnosti na mechanické pevnosti

4.5 Technicko-ekonomické zhodnocení

4.5.1 Popis situace

V následující části je představeno ekonomické zhodnocení pro briketování odpadního materiálu z dřevozpracovatelského průmyslu (odpadní biomasa). Bude počítáno se situací, kdy briketovací lis vlastní firma zabývající se zpracováním dřeva (řezání, hoblování). Tato firma má náklady spojené s likvidací dřevního odpadu (hoblina, pilina), který jiným způsobem nevyužívá. Firma má k dispozici dostatek odpadního materiálu, tudíž nemá v ekonomickém zhodnocení žádné investice spojené s nákupem vstupního materiálu. Zhodnocení bude demonstrováno na briketovacím lisu BrikStar 30 – 12 při běžné pracovní době a standartním chodu firmy 8 hodin denně. Veškeré ceny jsou uváděné bez DPH.

4.5.2 Výkonnost lisu

Budeme počítat, že v průměrném kalendářním roce je 250 pracovních dní, ze kterých je 10 pracovních dní vyčleněno na celozávodní dovolenou. V tab. 9 je shrnuta provozní doba lisu.

Provozní dny a hodiny			
Pracovní dny za rok	250	Pracovní hodin za rok	2000
Pracovní dny dovolená	10	Pracovní hodiny dovolená	80
Dny údržby	8	Hodiny údržby	64
Neplánovaná odstávka	3	Hodiny odstávky	24
Dny celkem	229	Hodiny celkem	1832

Tab. 9 Výpočet provozních dnů a hodin

Množství briket, které dokáže výše zmíněný lis vyrobit je mezi 20 až 40 kg·hod⁻¹. Firma zpracovává piliny a hobliny. Jelikož tyto materiály při měření vykazovaly nehomogennější vzorky, budeme pro výpočet volit střední hranici hodinového výkonu a to 30 kg·hod⁻¹. V tab. 10 je shrnuta výkonnost briketovacího lisu.

Výkonnost lisu		
Výkon lisu za hodinu	30	kg·hod ⁻¹
Výkon lisu za den	240	kg·den ⁻¹
Výkon lisu za rok	54960	kg·rok ⁻¹

Tab. 10 Výkonnost briketovacího lisu

4.5.3 Náklady na provoz stroje

Spotřeba elektřiny

Spotřebu elektřiny vypočítáme z příkonu zařízení 4,4 kW. Koeficient využití volíme fundovaným odhadem 50 %, protože briketovací lis dosahuje maximálního příkonu při rozběhu a před dokončením jednotlivých briket, když nejvíce narůstá lisovací tlak. Aktuální cena elektřiny pro podnikatele je přibližně 1585 Kč·MWh⁻¹. [58] Výpočet roční spotřeby je uveden v tab. 11.

Spotřeba elektrické energie		
Cena elektřiny	1,58	Kč·kWh ⁻¹
Příkon lisu – maximální	4,4	kW
Koeficient využití	50	%
Hodinová spotřeba elektřiny	2,2	kWh ⁻¹
Cena hodinové spotřeby elektřiny	3,476	Kč
Cena roční spotřeby elektřiny	6 368	Kč

Tab. 11 Spotřeba elektrické energie

Mzdové náklady

Teoretické mzdové náklady je obtížné určit, jelikož většina parametrů má značný rozptyl a pracovní časy jsou získány pouze odhadem.

Náklady THP

Náklady na zaměstnance THP (objednávky, fakturace, výdej atd.) nejsou zahrnuty, jelikož je obstarává obchodní oddělení, účetní a skladník.

Náklady dělník

Pro veškerou manipulaci s hotovými briketami, plněním zásobníků materiálem, čištění stroje a běžnou údržbu budeme počítat 2 pracovní hodiny denně. Nutno podotknout, že práci dělá pověřený zaměstnanec, který mimo manipulaci s hotovými briketami obsluhuje ostatní zařízení ve výrobě. Mzdové náklady jsou shrnuty v tab. 12.

Mzdové náklady		
Hrubá mzda	175	Kč·hod ⁻¹
Zdravotní pojištění zaměstnavatel	9	%
Sociální pojištění zaměstnavatel	25	%
Hodinové náklady na zaměstnance	234	Kč
Roční náklady na zaměstnance	117 250	Kč

Tab. 12 Mzdové náklady

4.5.4 Investiční náklady

Náklady na pořízení jsou 297 900 Kč za nákup lisu. Dále nákup příslušenství, které stojí dle fundovaného odhadu 50 000 Kč. [57] Odpisy byly rozvrženy do odpisového plánu na 5 let, jelikož se jedná dle zákona č. 586/1992 Sb. o odpisovou skupinu č. 2 – strojní vybavení. Celkové investiční náklady včetně odpisů jsou shrnuty v tab. 13. V ekonomickém zhodnocení bude počítáno s průměrným ročním odpisem 69580 Kč.

Odpisy BrikStar 30 – 12 včetně příslušenství			
Pořizovací cena		347 900 Kč	
Rok	Sazba odpisu [%]	Roční odpis [Kč]	Zůstatková cena [Kč]
2021	11,00	38 269	309 631
2022	22,25	77 407	232 223
2023	22,25	77 407	154 815
2024	22,25	77 407	77 407
2025	22,25	77 407	0

Tab. 13 Daňové odpisy

4.5.5 Ostatní náklady

Servisní náklady

Jsou stanovené fundovaným odhadem jako 10 % z pořizovací ceny, tedy 29 790 Kč každý rok provozu. Větší investiční náklady během prvních pěti let provozu nepočítáme.

Náklady na provozní prostor

Briketovací lis je umístěn v části skladu odpadního materiálu. Netvoří proto žádné náklady na užívaný prostor, protože díky provozu lisu je odpadní materiál kontinuálně zpracováván.

4.5.6 Výnosy z prodeje briket

Tržby z provozu briketovacího lisu jsou zobrazeny v tab. 14. Je počítáno s průměrnou prodejní cenou briket 5 000 Kč·t⁻¹.

Roční tržby		
Roční objem vyrobených briket	54,96	t
Prodejní cena	5 000	Kč·t ⁻¹
Roční tržby	274 800	Kč

Tab. 14 Roční tržby

4.5.7 Celkové finanční zhodnocení

Veškeré roční náklady a výnosy jsou shrnuty v tab. 15.

Celkové roční finanční zhodnocení [Kč]			
Roční náklady		Roční výnosy	
Elektřina	6 368	Prodej briket	274 800
Mzdy	117 250		
Odpisy	69 580		Roční zisk
Servis	29 790		51812

Tab. 15 Roční finanční zhodnocení

Jak můžeme vidět, jedná se o ekonomicky výhodný sekundární příjem v dřevozpracovatelském průmyslu.

4.5.8 Bod zvratu

Pro návratnost investice byl stanoven bod zvratu, který je vypočten pomocí vztahu (11)

$$Q = \frac{F}{P - VC} \quad (11)$$

kde:

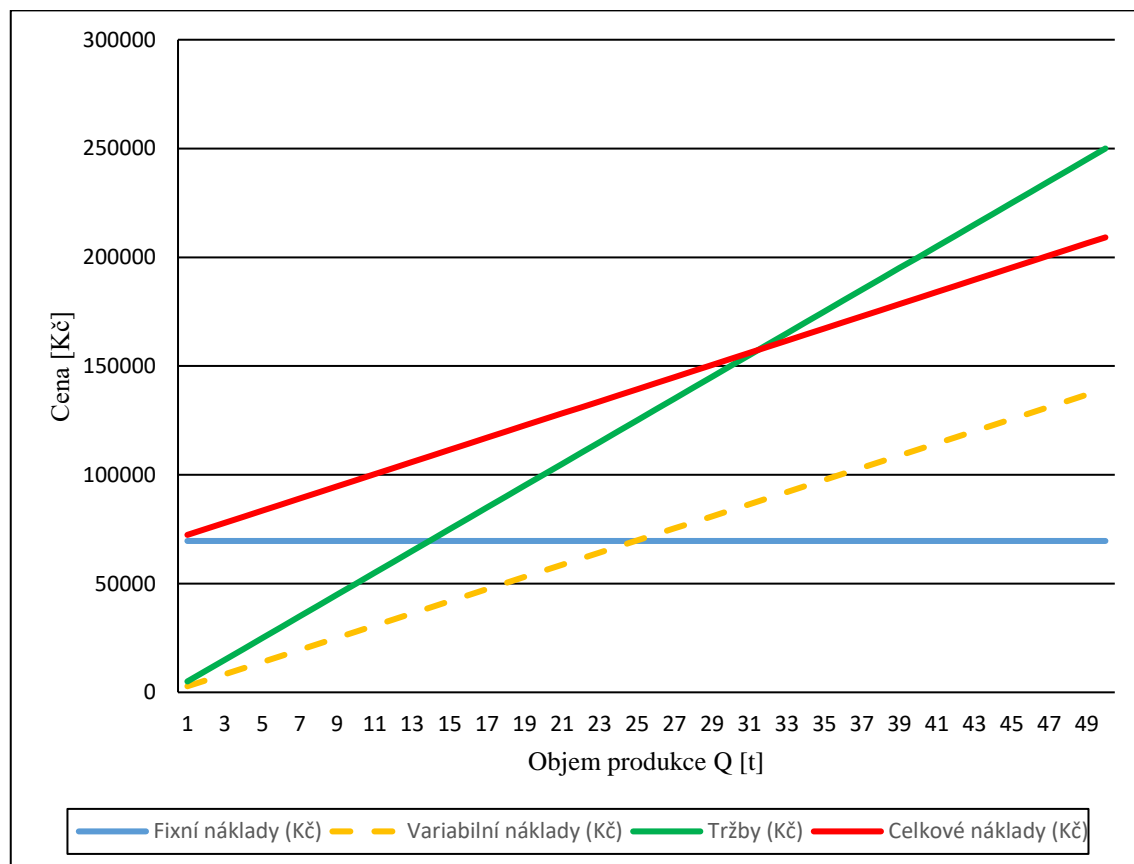
Q [t] – množství jednotek,

F [Kč] – fixní náklady,

P [Kč] – Cena jednotky,

VC [Kč] – variabilní náklady na jednotku.

Bod zvratu byl vypočten na 31,5 t a je zobrazen v grafu 15. V grafu vidíme, že od uvedené produkce začínají tržby převyšovat celkové náklady. V tomto bodě se vlivem objemu produkce ztráta mění na zisk.



Graf 16 Bod zvratu

Situace je teoretická, ovšem na základě finančního zhodnocení můžeme tvrdit, že pokud nemá firma žádný odbyt na dřevěný odpad např. v podobě spalování za účelem získání tepelné energie a měli bychom na vlastní náklady likvidovat odpadní materiál, tak je investice do technologie briketovacího lisu správnou volbou.

Zvětšení objemu produkce

Provozovat lis na absolutním maximu deklarované výkonnosti $40 \text{ kg}\cdot\text{hod}^{-1}$ již nebude možné. Pokud bude firma disponovat dostatkem odpadního materiálu, je na místě uvažovat o rozšíření briketovací linky. Majitel v podstatě může zvolit 4 základní možnosti:

- 1) Výměna lisu za výkonnější
- 2) Přikoupení druhého lisu
- 3) Modifikace briketovacího lisu osazením druhé lisovací komory.
- 4) Vícehodinový provoz

Poslední varianta je výhodná především z ekonomického hlediska – za relativně malý finanční obnos (oproti nákladům na nový lis) je možné až ztrojnásobit produkci briket a celkové zisky. Při vícehodinovém provozu je ovšem nutné uvažovat větší servisní zásahy za prvních 5 let provozu. Předmětem tohoto doporučení by byla investice do linky pro automatické plnění násypky a automatické plnění hotových briket, např. do velkoobjemových vaků. Na místě by byly pravděpodobně úpravy lisu pro práci v nepřetržitém provozu (zvětšená olejová náplň, chlazení atd.).

5 Závěr a diskuze

Použití biomasy, jako zdroje tepelné energie v domácnostech je teprve v začátcích, ale těší se stále větší oblibě. Oproti fosilním palivům je ekologická a snadno obnovitelná. Biomasa je k životnímu prostředí neutrální, co se týká CO₂, a tudíž je vhodné uvažovat o rozšíření technologie spalování biomasy za účelem získání tepelné energie. Biomasa v některých případech tvoří odpad z produkce nebo výroby, který musíme náročně a nákladně likvidovat. V tuto chvíli je na místě zvážit využití briketovací technologie, která může z nadbytečného odpadu vytvořit kvalitní palivo, ale i díky oblíbenosti žádaný produkt s téměř zajištěným odbytem. Jak bylo představeno v technicko-ekonomickém zhodnocení, bod zlomu při investici do briketovací technologie nastává poměrně brzy a pokud máme dostatek vstupního materiálu, který nedokážeme využít jiným způsobem, briketování je v tuto chvíli ideálním řešením. Briketovat biomasu, která vyžaduje dezintegraci, je finančně a časově náročné. Pokud máme k dispozici zásobu odpadní biomasy, je vhodné ji využít k získání energie přímým spalováním v kotlích na biomasu. Další využití briketovací technologie nastává, pokud potřebujeme biomasu uchovávat, transportovat nebo zmenšit její objem.

Briketované materiály byly podrobeny zkouškám, které potvrdily, že je možné využít široké spektrum vstupní komodity k briketování. Při zkoumání mechanických vlastností se dá tvrdit, že z veškerých zkoušených materiálů vznikly brikety vhodné k transportu. Žádný vzorek nevykazoval mechanickou odolnost menší než 90 %. Díky struktuře vstupních materiálů byly vyrobeny brikety odlišné hustoty a vyskytovaly se vzorky menší, ale i vyšší jakosti. Výrobce dané parametry výstupní hustoty a směrnici ministerstva životního prostředí č. 14-2006 nesplnil pouze jediný materiál – růže. Pravděpodobně by se změnou frakce, vlhkosti nebo lisovacího tlaku mohlo dosáhnout hustoty větší než 900 kg.m⁻³. Tento materiál ovšem vykazoval dobrou mechanickou odolnost. Co se týká produktů z dřevozpracovatelského průmyslu, tak jsou pro výrobu briket vhodnější hobliny než piliny, jelikož vykazovaly mnohem větší hustotu, mechanickou pevnost i mechanickou odolnost. Při výrobě briket z hoblin a pilin by pravděpodobně bylo možné tyto materiály mísit za účelem zlepšení mechanických vlastností. Pro veškeré vyhodnocení výsledků, tvorbu grafů a statistické výpočty byl použit tabulkový procesor Microsoft Excel.

5.1 První cíl

Experiment přinesl v rámci prvního cíle jednoznačné výsledky, protože průměrná hustota briket z růže nepřevyšovala minimální deklarovanou výstupní hustotu BrikStar 30 – 12. Průměrná hmotnost briket z ostatních materiálů byla vyšší než $900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, ale v měřených vzorcích z břízy, olivovníku, topolu osiky a smrkových pilin se nacházely jednotlivé brikety, které deklarovanou hustotu také nesplňovaly. Můžeme proto potvrdit, že první cíl vyvrátil výstupní parametry (hustotu) briketovacího lisu.

5.2 Druhý cíl

Při zkoumání jednotlivých materiálů nebyla zjištěna žádná závislost mezi měrnou hmotností a mechanickou pevností. Jak lze vyčíst z grafů závislosti lomové síly na hustotě materiálů topolu osiky, borovicových hoblin a smrkových pilin (graf 4, graf 6, graf 7), tak lomová síla je v rámci určité tolerance totožná, ale hustota vzorků byla naměřena v relativně širokém intervalu. Obecně můžeme tvrdit, že závislost mezi hustotou a mechanickou pevností neexistuje.

5.3 Třetí cíl

Jelikož měření mechanické odolnosti probíhalo na jiných sadách vzorků než měření mechanické pevnosti, můžeme pro experimentální zhodnocení třetího cíle vycházet pouze z průměrných dat jednotlivých materiálů. V grafu 12 je zobrazena závislost mechanické odolnosti na lomové síle. Díky jedné sadě vzorků, která se odchyluje od teoretické křivky, nelze tvrdit, že existuje závislost mezi mechanickou pevností a mechanickou odolností. Přesto je pravda, že vzorky s velmi malou mechanickou pevností vykazovaly i velmi malou mechanickou odolnost a naopak. Jiné závěry by mohlo vyvodit provedení tohoto typu zkoušky s větším množstvím různých materiálů, případně směsí. Na výsledky experimentu má pravděpodobně také vliv vlhkost jednotlivých materiálů, jelikož materiál (bříza), který vyvrátil závislost, měl v době zkoušky naměřenou poměrně nízkou vlhkost, která může být příčinou nižší soudržnosti briket.

5.4 Čtvrtý cíl

Jak již bylo uvedeno v kapitole 4.3 a kapitole 4.4 pouze dva materiály splnily část požadavků normy ČSN EN ISO 17225-1 (některé požadavky např. výhřevnost a obsah popela nebyly testovány). Pro komerční prodej je z hlediska testovaných parametrů vhodná pouze bříza a topol osika.

Zdroje

- [1] ERIKSSON, S. a PRIOR, M. *The briquetting of agricultural wastes for fuel*. Řím, Itálie : FAO, 1990. ISBN 92-5-102918-0.
- [2] BROŽEK, M. Briquettes Properties after Four Years Storage. *MANUFACTURING TECHNOLOGY*. 2018, Sv. 18, 1, stránky 11-15.
- [3] BROŽEK, M., NOVÁKOVÁ, A. a KOLÁŘOVÁ, M. Quality evaluation of briquettes made from wood waste. *Research in Agriculture Engineering*. 2012, Sv. 58, 1, stránky 30-35.
- [4] Ministerstvo životního prostředí. Směrnice č. 14 – 2006. *Brikety z dřevního odpadu*. Praha : MŽP ČR, 2006.
- [5] NOVÁKOVÁ, A. a BROŽEK, M. Briquette properties after three years storage. *ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT*. 2016, stránky 80-85.
- [6] PEJZL, J. Dřevěné [dřevní] pelety. *Biom.cz*. [Online] 26. 11. 2008. [Citace: 04. 12. 2020.] Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevene-drevni-pelety>. ISSN 1801-2655.
- [7] Legislativa Evropské unie v oblasti energetiky. *MPO*. [Online] 31. 10. 2017. [Citace: 03. 12. 2020.] Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/plynarenstvi-a-kapalna-paliva/legislativa-evropske-unie-v-oblasti-energetiky--232944/>.
- [8] Legislativa ČR. *MPO*. [Online] 14. 01. 2015. [Citace: 03. 12. 2020.] Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/energeticka-legislativa/legislativa-cr/>.
- [9] Zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. *Zakonyprolidi.cz*. [Online] 30. 05. 2012. [Citace: 03. 12. 2020.] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165/zneni-20190101#cast1>.
- [10] Vyhláška č. 477/2012 Sb. o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchování dokumentů. *Zakonyprolidi.cz*. [Online] 31. 12. 2012. [Citace: 03. 12. 2020.] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-477>.

- [11] JEVIČ, P., HUTLA, P. a ŠEDIVÁ, Z. *Metodická příručka MZe ČR*. Praha : Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. ISBN 978-80-86884-42-4.
- [12] ČSN EN ISO 16559 Tuhá biopaliva - Terminologie, definice a popis. 2015.
- [13] Vše o briketování, co je důležité vědět. *Briklis*. [Online] [Citace: 01. 12. 2020.] Dostupné z: <http://www.briklis.cz/vse-o-briketovani/>.
- [14] STUPAVSKÝ, V. a HOLÝ, T. Brikety z biomasy - dřevěné, rostlinné, směsné brikety. *Biom.cz*. [Online] 01. 01. 2010. [Citace: 03. 12. 2020.] Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/brikety-z-biomasy-drevene-rostlinne-smesne-brikety>. ISSN 1801-2655.
- [15] BROŽEK, M. The Effect of Moisture of the Raw Material on the Properties Briquettes for Energy Use. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendeliana Brunensis*. 2016, Sv. 64, 5, stránky 1453-1458.
- [16] OCHODEK, T., KOLONIČNÝ, J. a JANÁSEK, P. *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy*. Ostrava : Technická univerzita Ostrava , 2007.
- [17] ČSN EN 15234-1. Tuhá biopaliva - Prokazování kvality paliv – Část 1: Obecné požadavky. Praha : Český normalizační institut, 2011.
- [18] Dřevěné brikety hranaté RUF HARD. *Pelety CB*. [Online] [Citace: 03. 12. 2020.] Dostupné z: <https://www.pelety-cb.cz/produkt/drevene-brikety-hranate-ruf-hard/>.
- [19] Brikety válec. *UniHobby*. [Online] [Citace: 03. 12. 2020.] Dostupné z: https://eshop.unihobby.cz/stavba-kamna-a-krby-paliva-brikety-roll-10-kg/140951p/?gclid=Cj0KCQiAtqL-BRC0ARIsAF4K3WEIjyDyPMOnz3jDwofTXdkyDzTmWsdj9j-4ooIjAmSRnhEDI44LTGwaAk1HEALw_wcB.
- [20] ČSN EN ISO 17828. Tuhá biopaliva – Stanovení sypné hmotnosti. Praha : Český normalizační institut, 2016.
- [21] ČSN EN ISO 17831-2. Tuhá paliva – Stanovení mechanické odolnosti pelet a briket – Část 2: Brikety. Praha : Český normalizační institut, 2016.

- [22] HORÁK, J. Úvod do teorie spalování tuhých paliv. *Výzkumné energetické centrum VŠB*. [Online] 01. 11. 2013. [Citace: 08. 12. 2020.] Dostupné z: <https://vec.vsb.cz/export/sites/vec/.content/galerie-souboru/194-spalovani-tuhych-paliv-1.pdf>.
- [23] BARNARD, G.W. *The Use of Agricultural Residue As Fuel*. London : AMBIO, 1985.
- [24] ČSN EN ISO 18134-2 Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Metoda sušení v sušárně - Část 2: Celková voda - Zjednodušená metoda. Praha : Český normalizační institut, 2017.
- [25] KOTLÁNOVÁ, A. Testování biomasy a výrobků z biomasy [pelet a briket] určených ke spalování. *Biom.cz*. [Online] 15. 02. 2009. [Citace: 08. 12. 2020.] Dostupné z: <http://biom.cz/czp/odborne-clanky/testovani-biomasy-a-vyrobku-z-biomasy-pelet-a-briket-urceny-ke-spalovani>. ISSN 1801-2655.
- [26] ČSN EN ISO 18122 Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu popela. Praha : Český normalizační institut, 2016.
- [27] ČSN EN ISO 18123 Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu prchavé hořlaviny. Praha : Český normalizační institut, 2016.
- [28] BRADNA, J., MALAŤÁK, J. a ČERNÝ, D. Tepelně-emisní charakteristiky briket z odpadní biomasy na spalovacím zařízení s ručním podáváním. *VÚZT*. [Online] 20. 01. 2014. [Citace: 04. 12. 2020.] Dostupné z: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2014/019.pdf>.
- [29] MALAŤÁK, L. a PASSIAN, L. Heat-emission analysis of small combustion equipments for biomass. *Research in Agricultural Engineering*. 2011, Sv. 57, 2, stránky 37-50.
- [30] KOLONIČNÝ, J. Emise při spalování biomasy. *Biom.cz*. [Online] 06. 07. 2010. [Citace: 04. 12. 2020.] Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy-2>. ISSN 1801-2655.
- [31] PONÍŽIL, P. Environmentální fyzika: Energie biomasy. *Ústav fyziky a materiálového inženýrství: Fakulta technologická*. [Online] Univerzita Tomáše

- Bati ve Zlíně, 05. 03. 2010. [Citace: 07. 12. 2020.] Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_14.pdf.
- [32] DOMONKOŠOVÁ, L. Zařízení na spalování biomasy. *Ekolist.cz*. [Online] 08. 03. 2000. [Citace: 07. 12. 2020.] Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/zarizeni-na-spalovani-biomasy>. ISSN 1802-9019.
- [33] MURTINGER, K. a BERANOVSKÝ, J. *Energie z biomasy*. Brno : Computer Press: EkoWATT, 2011. ISBN 978-80-251-2916-6.
- [34] 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. Praha : Český normalizační institut, 2013.
- [35] Zplynovací kotle s úpravou pro hořák na pelety. *Atmos*. [Online] [Citace: 07. 12. 2020.] Dostupné z: <https://www.atmos.eu/zplynovaci-kotle-s-upravou-pro-horak-na-pelety/>.
- [36] MATTSSON, J.E. a KOFMAN, P.D. Influence of particle size and moisture content on tendency to bridge in biofuels made from willow shoots. *Biomass and Bioenergy*. 2003, Sv. 24, stránky 429-435.
- [37] SOUČEK, J. a KROULÍK, M. Parametry sušení energetických dřevin v experimentální sušárně. *Biom.cz*. [Online] 19. 04. 2010. [Citace: 08. 12. 2020.] Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/parametry-suseni-energetickych-drevin-v-experimentalni-susarne>. ISSN 1801-2655.
- [38] SOUČEK, J. *Drtiče, štěpkovače a řezačky pro úpravu rostlinné biomasy*. Praha : Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. ISBN 978-80-86884-31-8.
- [39] PLÍŠTIL, D., HUTLA, P. a ROY A. Briketování odpadů z dendromasy a zjištění mechanických parametrů briket. *Biom.cz* [online]. 2005-02-14 [cit. 2021-03-08]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/index.shtml?x=223025>>. ISSN: 1801-2655.
- [40] OCHODEK, T., KOLONIČNÝ, J. a BRANC, M. *Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy: studie v rámci projektu Možnosti lokálního vytápění*

a výroby elektřiny z biomasy. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1426-1.

- [41] ANDERT, D., SLADKÝ, V. a ABRHAM, Z. *Příručka 2006/7 - Energetické využití pevné biomasy*. Praha : Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2006. ISBN 80-86844-19-8.
- [42] FORMÁNEK, J. *Sušení a briketování uhlí*. Praha : SNTL, 1961.
- [43] Briketovací linky 200, 400, 600, 800, 1000. *Briklis.cz*. [Online] [Citace: 09. 12. 2020.] Dostupné z: <http://www.briklis.cz/susarny-linky/linky/>.
- [44] ČSN EN ISO 17225-1 Tuhá biopaliva - Specifikace a třídy paliv - Část 1: Obecné požadavky. Praha : Český normalizační institut, 2015.
- [45] HAVLÍČKOVÁ, K. *Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin*. Praha : Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, 2007. ISBN 978-80-7040-948-0.
- [46] SOUČKOVÁ, H. a MOUDRÝ, J. *Nepotravinářské využití fytomasy*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2006. ISBN 80-704-0857-x.
- [47] LYČKA, Z. Význam peletizace dřevní hmoty. *Biom.cz*. [Online] 18. 04. 2011. [Citace: 09. 12. 2020.] Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyznam-peletizace-drevni-hmoty>. ISSN 1801-2655.
- [48] Výroba dřevěných briket. *Jihobrik.cz*. [Online] [Citace: 09. 12. 2020.] Dostupné z: <https://www.jihobrik.cz/vyroba-drevenych-briket>.
- [49] BALOG, K. *Samovznietenie: samozahrievanie, vznietenie, vzplanutie*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. ISBN 8086111431.
- [50] ČSN 44 1315 Tuhá paliva - Skladování. Praha : Český normalizační institut, 2007.
- [51] ŠTĚPÁNEK, P., ČERNÝ, P. a ČERNÝ, P. Právní a ekonomické aspekty jsou základem. *Energie 21*. 2008, 2, stránky 45-47.

- [52] Porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii - TZB-info. *TZB-info.cz*. [Online] [Citace: 14. 12. 2020.] Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-teplou-vodu-a-elektrickou-energii-tzb-info>.
- [53] BrikStar 30 - 12. In: *Http://www.brikliis.cz* [online]. [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <http://www.brikliis.cz/wp-content/uploads/2013/02/brikstar-30-50-70-12.jpg>
- [54] Parametry BrikStar 30 - 12. *Dobré stroje* [online]. [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <https://www.dobrestroje.cz/dobrestroje/eshop/21-1-BRIKETOVACI-LISY/104-2-BRIKETOVACI-LISY/5/420-BRIKETOVACI-LIS-BRIK-STAR-30-12>
- [55] ČSN P CEN 15210-2 (83 8221) Tuhá biopaliva - Stanovení mechanické odolnosti pelet a briket - Část 2: Brikety, 2011
- [56] ČSN EN ISO 17225-1: Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv – Část 1: Obecné požadavky, 2010
- [57] Dobré stroje: BrikStar [online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://www.dobrestroje.cz/dobrestroje/eshop/21-1-BRIKETOVACI-LISY/104-2-BRIKETOVACI-LISY/5/420-BRIKETOVACI-LIS-BRIK-STAR-30-12>
- [58] Dobrá energie: Cena pro podnikatele [online]. [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: <https://www.dobra-energie.eu/website/mainmenu/elektrina-podnikatele/>
- [59] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Biomasa* [online]. c2020 [citováno 22. 02. 2021]. Dostupný z <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Biomasa&oldid=18018719>
- [60] *Evropská komise: Zelená dohoda pro Evropu* [online]. 11.12.2019 [cit. 2021-03-07].
- [61] ČSN EN 1928 (44 1352): Tuhá paliva - Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti

Seznam obrázků

Obr. 1 Brikety RUF a brikety válcové [18, 19]	9
Obr. 2 Diagram výhřevnosti dřeva [22]	12
Obr. 3 Vztah mezi výhřevností a obsahem vody ve dřevě [22]	14
Obr. 4 Mechanický lis na brikety [41]	21
Obr. 5 Hydraulický lis [41]	21
Obr. 6 Šnekový lis [41]	22
Obr. 7 Válcový lis [42]	22
Obr. 8 Briketovací linka firmy Briklis [43]	22
Obr. 9 Briketovací lis BrikStar 30 – 12 [53]	30
Obr. 10 Princip zkoušení mechanické pevnosti	32
Obr. 11 Schéma zařízení pro stanovení mechanické odolnosti briket [55]	33
Obr. 12 Vzorek tavelník	34
Obr. 13 Vzorek růže	36
Obr. 14 Vzorek bříza	37
Obr. 15 Vzorek topol osika	39
Obr. 16 Vzorek olivovník	39
Obr. 17 Vzorek borovice hobliny	41
Obr. 18 Vzor piliny smrk	43

Seznam grafů

Graf 1 Závislost lomové síly na měrné hmotnosti – tavolník	35
Graf 2 Závislost lomové síly na měrné hmotnosti – růže	36
Graf 3 Závislost lomové síly na měrné hmotnosti – bříza	37
Graf 4 Závislost lomové síly na měrné hmotnosti – topol osika	38
Graf 5 Závislost lomové síly na měrné hmotnosti – olivovník.....	40
Graf 6 Závislost lomové síly na měrné hmotnosti – borovicové hobliny	41
Graf 7 Závislost lomové síly na měrné hmotnosti – smrkové piliny	42
Graf 8 Měrná hmotnost – krabicový diagram.....	44
Graf 9 Lomová síla – krabicový diagram	44
Graf 10 Vlhkost.....	45
Graf 11 Mechanická odolnost	45
Graf 12 Normální rozložení – délka	46
Graf 13 Normální rozložení – hmotnost	47
Graf 14 Normální rozložení – průměr.....	47
Graf 15 Závislost mechanické odolnosti na mechanické pevnosti	48
Graf 16 Bod zvratu.....	53

Seznam tabulek

Tab. 1 Pásma měrné hmotnosti [56]	10
Tab. 2 Třídy mechanické odolnosti [56]	11
Tab. 3 Obsah prchavé hořlaviny v různých palivech [22]	15
Tab. 4 Závislost emisních faktorů na 1 GJ [30]	17
Tab. 5 Klasifikace dřevních paliv [44; 11]	24
Tab. 6 Klasifikace bylinné biomasy [44; 11]	25
Tab. 7 Klasifikace ovocné biomasy [44; 11]	26
Tab. 8 Parametry BrikStar 30 – 12 [54]	30
Tab. 9 Výpočet provozních dnů a hodin	49
Tab. 10 Výkonnost briketovacího lisu	50
Tab. 11 Spotřeba elektrické energie	50
Tab. 12 Mzdové náklady	51
Tab. 13 Daňové odpisy	51
Tab. 14 Roční tržby	52
Tab. 15 Roční finanční zhodnocení	52