

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav lesnické a dřevařské techniky

Biopaliva ve formě pelet a krátkého kusového dříví

Diplomová práce

2015

Bc. Ondřej Zamazal

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Biopaliva ve formě pelet a krátkého kusového dříví zpracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladu spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne:..... podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé práce Ing. Et Ing. Janu Klepárníkovi Ph.d. za jeho čas, rady a odborné vedení. Dále bych poděkoval své rodině za pomoc při měření.

Abstrakt:

Autor: Bc. Ondřej Zamazal

Název: Biopaliva ve formě pelet a krátkého kusového dříví

Cílem je porovnat a vyhodnotit výrobu pelet a krátkého kusového dříví s jeho využitím pro vytápění rodinných domů.

Práce přináší výsledky měření energetické náročnosti výroby krátkého kusového dříví na jednotku objemu, porovnání metod sušení přirozeným způsobem a stanovení sypné hmotnosti při dané vlhkosti. Dále byla zjištěna mechanická odolnost, vlhkost a sypná hmotnost pelet různých výrobců.

Závěr obsahuje návrh technologie pro vytápění rodinného domu s využitím obou druhů biopaliv.

Klíčová slova: obnovitelný zdroj, biomasa, energie, japonský topol, pelety, krátké kusové dříví

Abstract

Autor: Bc. Ondřej Zamazal

Title: Biofuels like pellets and short preaces of wood

The aim is to compare and evaluate the production of pellets and short piece of wood to its use for heating houses.

Work presents the results of measurements of energy intensity of production short piece of wood per unit volume, compared to naturally drying metods and determination of bulk density at a given humidity. There was also found mechanical resistance, moisture and bulk density of pellets of different manufactures.

Conclusion contains the proposal which describes technology for heating a house with use of both types of biofuels.

Keywords: renewable resource, biomass, energy, the Japanese poplar, pelets, wood chunks

Obsah

1.	ÚVOD	10
2.	CÍL PRÁCE.....	11
3.	LITERÁRNÍ PŘEHLED	12
3.1.	Biomasa	12
3.1.1.	Doprava biomasy.....	13
3.1.2.	Biomasa získaná ze zemědělství	13
3.1.3.	Lesní biomasa.....	16
3.1.4.	Úprava biomasy.....	17
3.1.5.	Principy peletování.....	18
3.1.6.	Linka na výrobu peletek	20
3.2.	Pelety	22
3.2.1.	Obsah vody.....	22
3.2.2.	Obsah popela	23
3.2.3.	Mechanická odolnost.....	24
3.2.4.	Sypná hmotnost	24
3.2.5.	Spalné teplo	25
3.2.6.	Výhřevnost	26
3.3.	Zpracování lesní biomasy.....	27
3.4.	Štěpkovače (drtiče) dřevní hmoty	27
3.4.1.	Bubnové štěpkovače.....	27
3.4.2.	Diskové štěpkovače.....	29
3.4.3.	Šroubové štěpkovače.....	30
3.4.4.	Válcový štěpkovač	31
3.5.	Sušení biomasy.....	32
3.5.1.	Nucené sušení.....	32
3.5.2.	Přirozené sušení.....	33
4.	Materiál a metodika:.....	34
4.1.	Energetická náročnost výroby krátkého kusového dříví	34
4.1.1.	Měření výnosu topolové plantáže, sklizně a drcení	35
4.2.	Popis drcených druhů	36
4.2.1.	Topol černý x maximovič	36
4.2.2.	Smrk ztepilý	36

4.2.3.	Habr obecný	36
4.2.4.	Dub letní	37
4.2.5.	Třešeň ptačí	37
4.2.6.	Jabloň lesní	37
4.2.7.	Švestka domácí.....	37
4.2.8.	Střemcha obecná	37
4.2.9.	Svída krvavá	38
4.2.10.	Krušina olšová.....	38
4.2.11.	Bez černý.....	38
4.3.	Sušení krátkého kusového dříví	39
4.4.	Měření vlhkosti	39
4.4.1.	Elektrická metoda.....	39
4.4.2.	Gravimetrická metoda	40
4.4.3.	Stanovení sypné hmotnosti.....	42
4.4.4.	Sypná hmotnost pelet	42
4.4.5.	Sypná hmotnost krátkého kusového dříví	43
4.5.	Zjišťování mechanické odolnosti pelet	45
4.5.1.	Dřevní peleta	46
4.5.2.	Alternativní pelety.....	46
5.	Výsledky a vyhodnocení	47
5.1.	Sklizeň topolové plantáže.....	47
5.2.	Výsledky měření spotřeby a výkonu drtiče DH 10 Sp.....	48
5.3.	Sypná hmotnost a sušení křížence topolu	49
5.4.	Sypná hmotnost pelet	51
5.5.	Měření vlhkosti pelet.....	52
5.6.	Hustota pelet.....	52
5.7.	Mechanická odolnost pelet.....	53
5.8.	Porovnání krátkého kusového dále KKD dříví a pelet pro vytápění.....	54
6.	Diskuze.....	58
6.1.	Výroba krátkého kusového dříví	58
6.1.1.	Sklizeň topolové plantáže.....	58
6.1.2.	Sušení krátkého kusového dříví	59
6.1.3.	Sypná hmotnost krátkého kusového dříví	59

6.2.	Dřevní pelety, agropelety	60
6.2.1.	Sypná hmotnost (BD) pelet	60
6.2.2.	Vlhkost pelet	61
6.2.3.	Hustota pelet.....	61
6.2.4.	Mechanická odolnost.....	62
6.2.5.	Porovnání krátkého kusového dříví a pelet	62
7.	Závěr:	63
8.	Přehled použitých internetových zdrojů.....	67

1. ÚVOD

Z důvodu zvyšujících se nároků na výrobu energií jsou hledána řešení, která maximálně využívají potenciál dané suroviny a snižují náklady na její přípravu. Veliký potenciál se skrývá v obnovitelných zdrojích energie, kam patří i využití biomasy. V současné době podíl intenzivně obhospodařované půdy nejen u nás ale i v celé Evropě klesá a lze předpokládat její další pokles. Je to dáno zvyšováním výnosů v úrodných oblastech, a zatravňováním/zalesňováním méně úrodných ploch, tedy horských a podhorských polí a luk. Tyto zatravněné pozemky nadále slouží pouze jako prostředek k výrobě sena, senáží, popřípadě pastviny pro dobytek. Jedno z dalších možných využití těchto přebytečných ploch je právě zalesnění a to nejen rychle rostoucími dřevinami ale i klasicky.

V posledních dvou desetiletích se v západní Evropě a v také v některých oblastech Severní Ameriky začíná na stále větší a větší rozloze zemědělské půdy využívat nový systém hospodaření, který je v češtině nejčastěji označován jako plantáže rychle rostoucích dřevin (r.r.d.), případně energetické plantáže pro bioenergetiku. Plocha plantáží rychle rostoucích dřevin v ČR roste i přes ukončení státní podpory formou dotací na výsadbu (Petříková a kol. 2006), nejen z důvodu výroby energetické biomasy (štěpky), ale i za účelem samozásobení a z globálního hlediska i ochrany přírodních zdrojů a biodiverzity.

Porovnáme-li přirozené lesní porosty a plantáže, zjistíme, že plantáže nám přinášejí levnější a mnohdy i kvalitnější surovinu pro zpracovatelský průmysl. (Wade, 1998).

Na rozdíl od lesnických lignikultur topolů, které jsou sklizeny po 20-30 letech růstu, plantáže r.r.d. na zemědělské půdě jsou sklizeny ve velmi krátkém obmýtlí (tzv. minirotační) 3-7 let, kterou je možné opakovat několikrát po sobě bez nutnosti nové výsadby. Jejich produktem je (dřevní) biomasa využitelná hlavně jako palivo (vytápění, sdružená výroba elektřiny), ale i jako průmyslová surovina (výroba tekutých paliv, konstrukčních materiálů).

2. CÍL PRÁCE

Nastítnit problematiku přeměny biomasy v ušlechtlejší formu paliva – pelet. Zhodnotit vlastnosti vyráběných pelet a porovnat jejich výhody a nevýhody, proti krátkému kusovému dříví. Uvést příklad používání pelet/krátkého kusového dříví v domácích podmínkách pro vytápění domu s tepelnou ztrátou do 30 kW. Změřit energetickou náročnost na sklizeň topolové plantáže, stanovit sypanou hmotnost krátkého kusového dříví a průměrný úbytek vlhkosti při sušení.

3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1. Biomasa

Definice podle evropské směrnice: „biomasou“ se rozumí biologicky rozložitelná část výrobku, odpadů a zbytků ze zemědělství (včetně rostlinných a živočišných látek), lesnictví a souvisejících průmyslových odvětví, a rovněž biologicky rozložitelná část průmyslového a komunálního odpadu.

Biomasa je rozlišována podle obsahu vody na suchou, mokrou a speciální. Suchou biomasou se myslí zejména dřevo a dřevní odpady, ale také sláma a další odpady. Lze ji spalovat přímo, případně po mírném vysušení. Mokrou biomasou jsou myšleny tekuté odpady – kejda a další. Nelze je spalovat přímo, využívají se v bioplynových technologiích. Do speciální biomasy jsou řazeny olejninu, škrobové a cukernaté plodiny. Energie se z nich získává ve speciálních technologiích, příkladem je bionafta a líh (*BIOMASA, 2010*)

Skutečným zdrojem obnovitelných zdrojů energie je sluneční záření. Podle tohoto tvrzení lze biomasu definovat jako substanci biologického původu, která zahrnuje rostlinou biomasu pěstovanou v půdě a ve vodě, živočišnou biomasu, produkci organického původu a organické odpady. Tedy fytomasu, hmota pouze rostlinného původu a hmotu živočišného původu, např. kejda hospodářských zvířat apod. (*BIOMASA-INFO, 2015*).

Rostliny, které nejsou pěstovány pro využití v potravinářství nebo krmivářství jsou nazývány technickými. Technické plodiny pěstující se pro získání energie jsou označovány jako energetické – do této kategorie spadají i topolové plantáže, které jsou částí předmětu této práce. Produktem získaným z těchto energetických plodin jsou biopaliva (fytopaliva), která mohou být tuhá (řezanka, balíky, brikety, pelety, atd.), tekutá (rostlinné oleje, bionafta, bioethanol), nebo plynná (bioplyn, dřevoplyn).

3.1.1. Doprava biomasy

Tuto získanou biomasu je třeba z místa výroby (les, pole, skládka) přepravit na místo spotřeby, nezávisle na vzdálenosti. V této práci bude pojednáváno o přepravě biomasy z lesa a z polí.

3.1.2. Biomasa získaná ze zemědělství

V této práci bude biomasou získanou ze zemědělství nazýváno luční seno, a sláma kulturních druhů plodin (zrniny), popřípadě nedřevěné energetické plodiny.

Na místo následného zpracování lze tuto biomasu dopravit několika způsoby v závislosti na vzdálenosti a použité mechanizaci.

Pomocí samosběracích vozů, toto řešení je velice elegantní v případě dopravy materiálu do vzdálenosti cca 2 km, díky malému stlačení hmoty (přibližně 80 kg/m^3) je zde dosahováno malé efektivity. Vytíženost takového vozu se pohybuje od 20 po 50 % při převozu stébelných materiálů. Zároveň je nutné mít adekvátní skladovací kapacity, pro takto volně ložený materiál (objemová hmotnost volně loženého materiálu cca 60 kg.m^{-3}). Oproti tomu je sběr velice rychlý a nevyžaduje výkonné pohonné jednotky (obvykle traktor). Z důvodů zvýšení efektivity je nutnou použít „kompresní“ zařízení aby došlo k vytížení přepravní techniky a skladovacích prostor. Lisováním se zvýší objemová hmotnost, a je usnadněna kontrola plánované spotřeby.

Ke kompresi jsou užívány lisy na hranaté a kulaté balíky, které lze dále dělit na nízkotlaké, středotlaké, vysokotlaké.

Nízkotlaké lisy vytváří malé balíky o hmotnosti 10 - 15 kg, objemové hmotnosti $50-100 \text{ kg.m}^{-3}$.

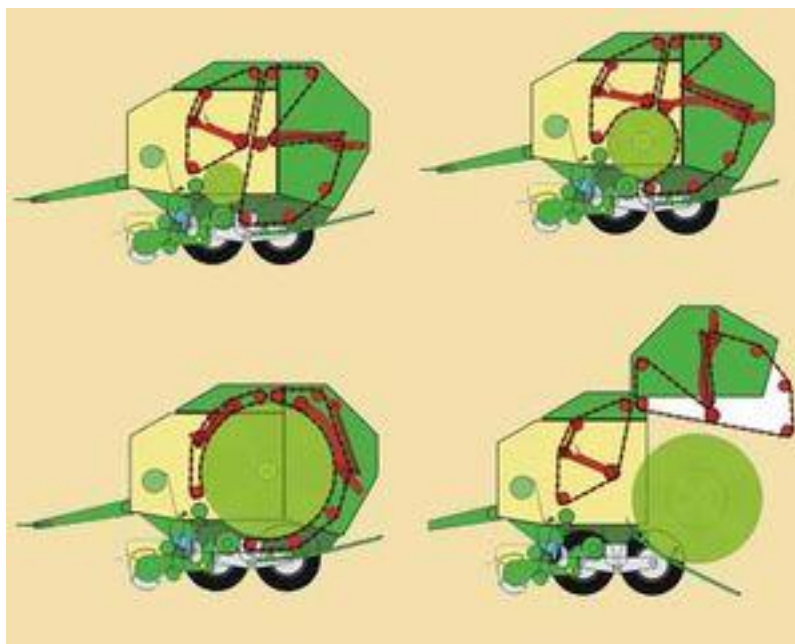
Středotlaké lisy se v současnosti již téměř nevyužívají stejně jako výše zmíněné nízkotlaké. Z důvodu efektivity a to jak při přepravě tak skladování, je nejlepší variantou lisování vysokotlaké.

Vysokotlaké lisy na malé hranolové balíky, hmotnosti balíku 20-35 kg, objemová hmotnost $100-250 \text{ kg.m}^{-3}$.



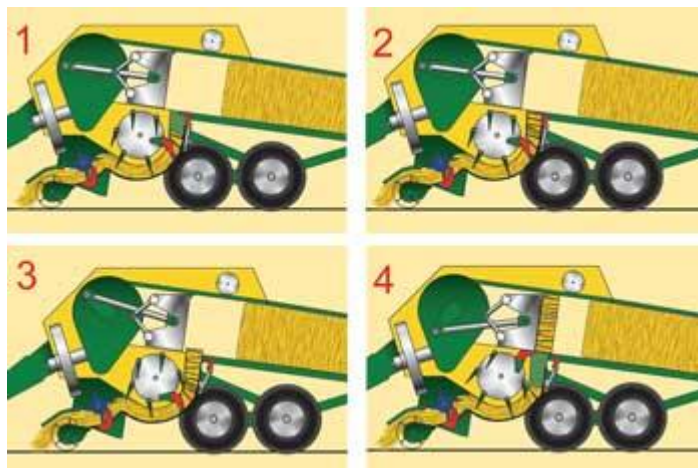
Obr.1- Vysokotlaký lis na malé hranaté balíky (Agrokatalog, 2014)

Lisy na válcové balíky, takto konstruované lisy mají výhodu v menším namáhání celého stroje, jejich energetická náročnost je menší oproti hranolovým lisům. Velikost balíků se pohybuje v rozmezí od 1,2 – 1,5 m šířky, průměru 0,6 -1,8 m. Hmotnost balíku je odvislá na zpracovávaném materiálu, řádově se pohybuje od 190 – 500 kg.



Obr.2- Princip lisování balíku v lisu s variabilní komorou (Vobosystem, 2014)

Lisy na obří hranolové balíky jsou konstruovány obdobně jako lisy na malé hranaté balíky, stlačování zde zajišťuje přímočarý pohyb pístu. Před samotným lisováním pístu je hmota předlisována v přechovací komoře. Rozměry balíku záleží na rozměrech komory, délka je stavitelná. Obvykle se hodnoty pohybují okolo hodnot 1,2 x 1,2 x (1,5 až 2,5) m, hmotnost takovýchto balíků dosahuje od 380 po 1000 kg. (Břečka et. al., 2000)



Obr.3- Princip lisování velkých hranolových balíků

1 – hromadění hmoty v předlisovací komoře; 2 – zaplnění předlisovací komory; 3 – vytlačení materiálu z předlisovací komory do lisovací; 4 – stlačení materiálu pístem vysokým tlakem

3.1.3. Lesní biomasa

Lesní biomasu lze získat z odpadu na pilařských a dřevozpracujících závodech, nebo odpadu vzniklém při těžbě kulatiny, popřípadě z výchovných zásahů v lesích.

Pilařské a dřevozpracující provozy zde se jedná o odpad v podobě kůry po odkornění kulatiny, krajiny, oblíny, krátké kusy po vymanipulování vad a piliny vzniklé řezáním. Tento odpad lze na místě zpracovat štěpkováním, v případě krajin páskovat do balíků různých délek (řádově 3-4m). Kůra se v současnosti prodává jako mulčovací materiál pro zahrádkáře, popřípadě jako palivo průmyslových kotlů.

V současné době mnoho zpracovatelů dřevní suroviny vlastní i kotle pro vytápění sušáren, popřípadě elektráren, čím dosahují maximálního využití bez nutnosti další dopravy materiálu.

Zbytková těžební biomasa, převážně tedy klest, vrcholky stromů, pařezy, odpad z probírkových a mýtních těžeb. Tento materiál lze převážet v podobě štěpky, obvykle přiblíženo na odvozní místo. Nebo snopování speciální nástavbou na vyvážecí soupravě. Tímto způsobem je klest lisována do balíků délky 3 metry, průměru 60-70 cm a hmotnosti 300-500 kg. V České republice málo využíváno.

Klest je zpracovávána různými způsoby. Pálením na místě vzniku, výhodou je navrácení minerálních látek a živin do půdy. Energetický potenciál ovšem není využit.

Štěpkování na místě vzniku, z připravených hromádek, využíváno spíše pro domácí podmínky vzhledem ke komplikaci dopravy z těchto míst.

Odvoz klestu na vyvážecích soupravách na místo dostupné mechanizaci (přívěsné štěpkovače) a dopravním prostředkům (velkoobjemové přívěsy, specializované přívěsy „walking-floor“).



Obr.4- Pálení plestu



Obr.5- Odvoz klestu (Dřevošrot.cz)

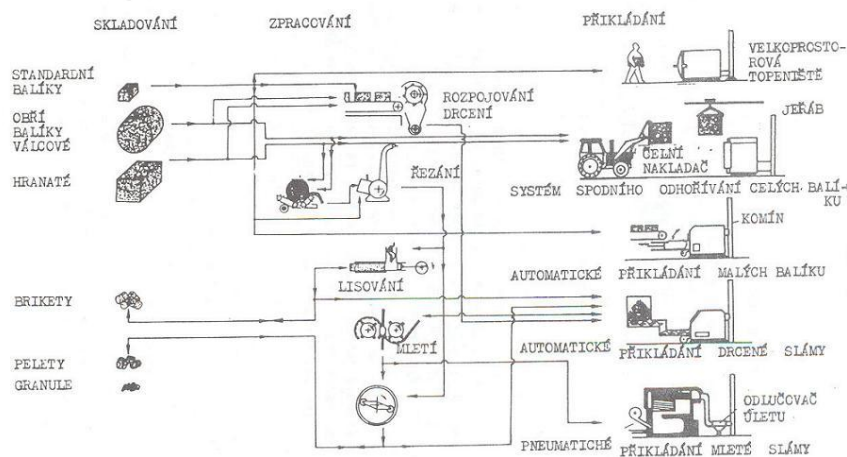


Obr.6- Lisování balíků klestu (Drachtich.cz)

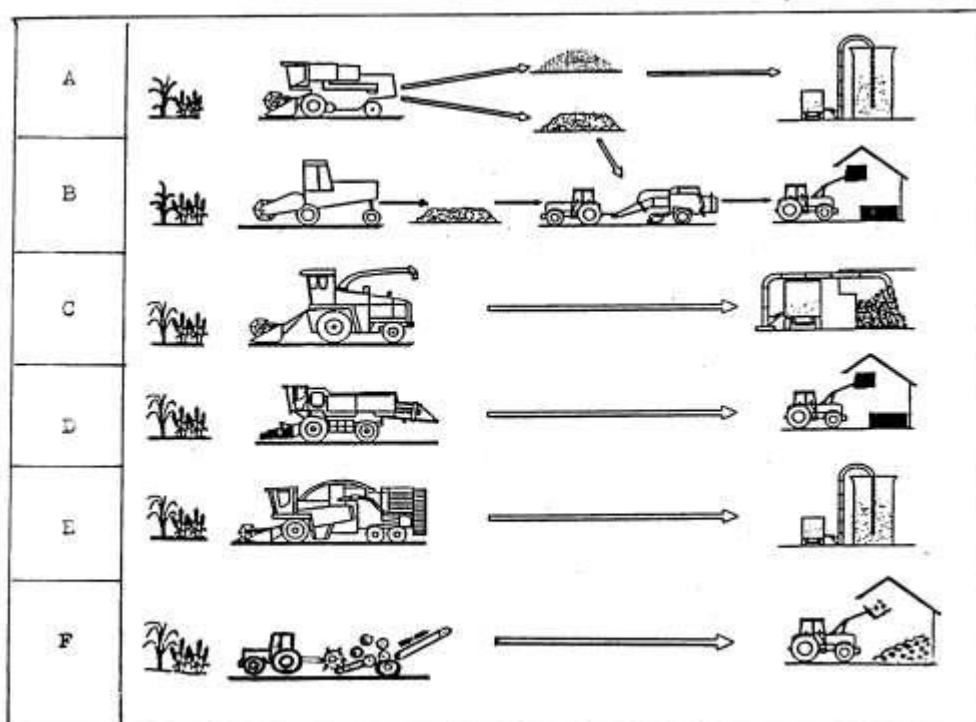
3.1.4. Úprava biomasy

Je-li materiál k dalšímu zpracování přepravován ve formě balíků, následuje po dopravě na sklad rozrušení takto dopraveného balíku.

V případě elektráren a tepláren už k dalšímu rozrušení nedochází, technologie spalování umožňuje zpracovávat celé balíky (agroprodukty), nebo štěpku drcenou v lese.



Obr.7 – Schéma zpracování slámy (energetických bylin) (zf.czu.cz, 2013)



Obr.8- Technologie sklizeň a zpracování energetických stébelnin

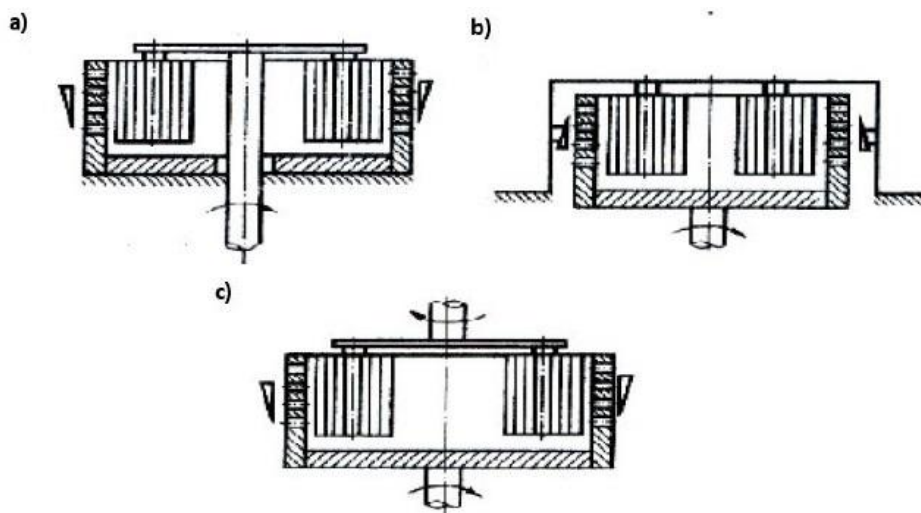
A – sklizeň zrnin sklízecí mlátičkou – sláma odpadáva na řádek; B – kosení energetických obilovin a travin žacíím strojem, jejich sušení a sběr lisem; C – sklizeň sklízecí řezačkou – je možné využít přímého sečení nebo sběru z řádku; D – přímá sklizeň nebo sběr ze řádku samojízdným nebo taženým lisem; E – přímá sklizeň nebo sběr ze řádků samojízdným peletizačním (briketovacím) lisem; F – svinování stébelnin ze řádků svinovacím kompaktorem.

3.1.5. Principy peletování

Hlavním důvodem pro využívání linek na výrobu pelet je homogenizace materiálu tedy zefektivnění hlavně při přepravě. Pelety jsou velice ušlechtilým palivem, jejichž použití v automatickém kotli přináší uživateli komfort v podobě obsluhy téměř srovnatelný s kotlem na zemní plyn.

Lisy jsou děleny na dva typy a to s kruhovou, vertikální maticí a horizontální deskovou maticí (Pastorek; Kára, Jevič, 2004).

Lisy s kruhovou (prstencovou) vertikální maticí pracují na principu děrovaného disku. Ve vnitřní části bývá umístěno dvě a více kladek, které protlačují lisovaný materiál přes otvory. Výkony těchto lisů se pohybují od 3-5 tun hodinově jejich životnost je odhadována na 1000-1500 pracovních hodin (přibližně 10 000 tun pelet). Konstrukčně je řešen ve třech variantách viz obr.



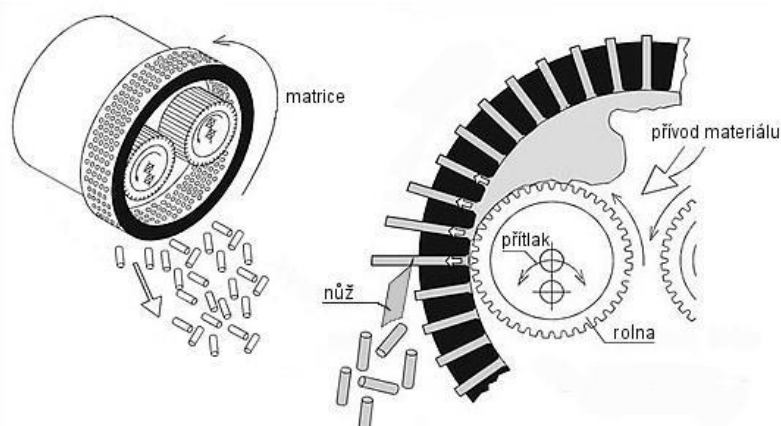
Obr.9- Schéma znázornění prstencových lisů

A – Rotační rolny – pevná matrice; B – Pevné rolny – rotační matrice;

C – Rotační rolny – rotační matrice

Výhoda prstencových lisů spočívá ve vysokém lisovacím tlaku, který má veliký vliv na kvalitu pelet. Další výhodou je snadný přísun materiálu k matici (obvykle šnekovým dopravníkem), a jeho rovnoměrné rozložení, tedy stejnoměrné zatížení matrice (lepší vyváženost lisu). Z hlediska údržby je výhodou i menší počet pohyblivých částí.

Princip lisu s vertikální prstencovou maticí je použit i u varianty lisu s horizontální prstencovou maticí, jedná se o obdobnou technologii převrácenou o 90°.



Obr.10- Princip činnosti lisu s horizontální prstencovou maticí

Lisy s horizontální deskovou maticí využívají systémů otáčivých rolen (dvou a více), které svým odvalováním po kruhové matici protlačují lisovanou surovinu přes otvory. Princip činnosti je převzat z granulačních linek krmných směsí. Obvykle výkony těchto lisů dosahují hodnot 100-1500 kg hodinově. Svoji výkonností jsou vhodné pro menší výrobu, doplněk truhlářských dílen.

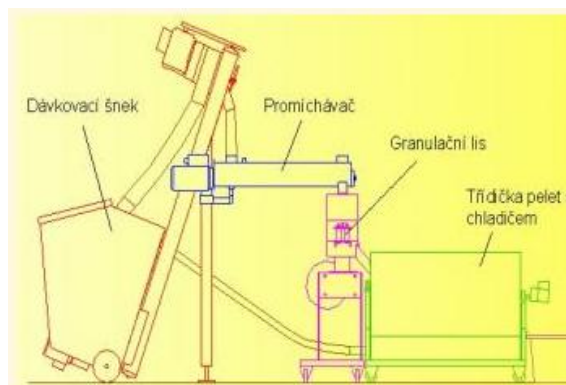
Při peletování se suchá drť o vlhkosti v rozmezí 6-12 % a s malým podílem dřevního prachu pod mechanicky velkým tlakem přeměňuje do válečků o průměru 6-20 mm, délek 10-50 mm. Objemová hmotnost takto slisované hmoty je od 1000-1400 kg/m³, v závislosti na kvalitě slisování a lisovaném materiálu. Sypná hmotnost se pohybuje okolo 600 kg/m³. Takto vytvořené palivo je velmi vhodné pro automatické kotle pro rodinné domy, menší obytné domy a lokální automatická kamna v bytech (Petříková a kol., 2006).

3.1.6. Linka na výrobu peletek

Peletovací linka od firmy KOVO NOVÁK Citonice, byla konstruována pro malé kapacity, malé výroby, popřípadě menší zemědělce. Pro všechny, kteří mají přístup k materiálu (odpadu) vhodnému k peletování a mohou si tak prodejem pelet zvýšit své příjmy, případně řešit vlastní energetické nároky.



Obr.11- Kompletní peletizační linka



Obr.12- Schema peletizační linky

Firma vyrábí několik výkonnostních variant linky se značením MGL 200, MGL 400, MGL 600. Tyto linky lze využívat pro granulaci dřevěných pilin, sena, slámy, biomasy, papíru a dalších.

Prvním prvkem linek je uzavřená násypka, do které je vkládán vstupní materiál. Z násypky je šnekovým dopravníkem přenesen do míchací komory. Přebytek hmoty propadává zpět do násypky. V komoře lze k materiálu přidávat vodu, a aditiva. Dále materiál vstupuje do lisovací komory. Lisovací komora je konstruována s horizontální

deskovou maticí. Po průchodu lisem vzniklá peleta padá do třídičky spojené s chlazením. V tomto třídiči dochází k separaci prachu a nestandardních pelet. Zchlazením po lisování se zabrání pozdějšímu rozpadu z důvodu přehřátí. Odpad v podobě prachu a nestandardních pelet z třídiče je vrácen k opětovnému lisování.

Tab.1- Parametry peletovací linky MGL 200

<u>Technické údaje linky MGL 200</u>	
Průchodnost celé linky	Až 300 kg.h ⁻¹
Příkon celé linky	8,85 – 10,85 kW
Hmotnost linky	430 kg
Max. výška	2230 mm
El. Připojení	400 V/25 A kat. C-D
El. Zásuvka	5x 32 A
Výkon linky dřevní pelety	50 – 100 kg.h ⁻¹
Výkon linky agro pelety	50 – 150 kg.h ⁻¹
Výkon linky je závislý na zpracovávaném materiálu, jeho frakci a vlhkosti. Používané granulační matrice s průměry otvorů 3,5 mm, 4,5 mm, 6 mm, 8 mm.	

3.2. Pelety

Dřevní peleta je slisované biopalivo z práškové dřevní biomasy s přísadami nebo bez přísad, obvykle ve formě válečků, průměrné délky typicky 5 až 40 mm, s ulomenými konci.

Při průchodu peletovacím strojem se z lisované hmoty stává peleta, jejíž rozměry jsou dány normou ČSN EN ISO 17225-2.

Průměr pelety je dán průměrem otvorů v lisovací matici, délku nelze takto normovat, většina pelet se rozlomí na menší kusy (závislost pojiva, průměru lisovacích kanálků pro lisovaný materiál, kvalitou zchlazení čerstvě vylisovaných pelet). V následující tabulce je uveden rozsah délek, pelet delších než maximální rozměr je dovoleno do 5 % objemu.

Tab.2- Dělení pelet podle rozměrů do pěti tříd (tolerance průměru ± 1 mm)

Označení	Průměr [mm]	Délka [mm]
D 06	6	3,5 – 40
D 08	8	3,5 – 40
D 10	10	3,5 – 40
D 12	12	3,4 – 50
D 25	25	10 - 50

3.2.1. Obsah vody

Vlhkost vyrobené pelety závisí na vlhkosti vstupního materiálu, jehož rozsah vlhkosti by měl být od 12 do 14 %. Před vstupem do peletovacího lisu je materiál lehce zvlhčen, ale v protlačovací matici vlivem tlaku se zahřeje a po průchodu obsah vlhkosti nepřesahuje 10 %. S vyšší vlhkostí dochází k snížení mechanické odolnosti a zvýšené hygroskopicitě. (Lyčka, 2011)

Podle vlhkosti jsou pelety tříděny do dvou kategorií (ČSN EN 14744-1)

1. M10 (≤ 10 %)
2. M15 (≤ 15 %) pro pelety z nedřevní biomasy

3.2.2. Obsah popela

Dřevní biomasa má oproti ostatní biomase nízký obsah popelovin. Čistá dřevní hmota obsahuje 0,3 až 0,5 %, kůra 3%, u těžebních zbytků s jehličím a listím může dosahovat i 5 %.

Vysoký obsah popelovin způsobuje problémy v topeništích s malým roštem, kde dochází k zacpáním roštu a zamezení přístupu primárního vzduchu do hořáku. Následkem toho je horší průběh spalování v konečné fázi až zastavení samotného hoření.

Podle obsahu popela je stanoveno 10 tříd (ČSNEN 14775)

Tab. 3 Rozdělení biomasy podle obsahu popela

A0.5	($\leq 0,5\%$)
A0.7	($\leq 0,7\%$)
A1.0	($\leq 1\%$)
A1.5	($\leq 1,5\%$)
A2.0	($\leq 2\%$)
A3.0	($\leq 3\%$)
A5.0	($\leq 5\%$)
A7.0	($\leq 7\%$)
A10.0; A10,0+	($\geq 10\%$)
Třídy A5.0 až A10.0+ se předpokládají pro nedřevní pelety	

3.2.3. Mechanická odolnost

Mechanickou odolností je myšlena vlastnost pelet mechanicky odolávat nárazům a otěru, způsobujícím následný rozpad. Dobrá mechanická odolnost zajišťuje bezproblémové dávkování v hořáku kotle.

Mechanickou odolnost lze stanovit dle vzorce:

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

Kde,

DU je mechanická odolnost pelet [%],

m_A je hmotnost vzorku po testu [g],

m_E je hmotnost vzorku před testem [g].

Tab.4- Rozdělení tříd mechanické odolnosti pelet dle EN 15210-1

Označení	%
DU97.5	$\geq 97,5$
DU96.5	$\geq 96,5$
DU95.0	≥ 95
DU95.0-	< 95

Uvedená čísla v pravé straně tabulky vyjadřují množství hmoty, která nebyla oddělena při testu.

3.2.4. Sypná hmotnost

Sypná hmotnost je významným parametrem z hlediska dodávky paliva v objemových jednotkách, kapacity dopravních prostředků, dimenzování skladů. Sypná hmotnost spolu s výhřevností definuje energii akumulovanou v peletě.

Tab.5- Sypná hmotnost je normou rozdělena do pěti tříd (EN 15103)

Označení	kg.m^{-3}
BD550	≤ 550
BD600	≤ 600
BD650	≤ 650
BD700	≤ 700
BD700+	> 700

3.2.5. Spalné teplo

Spalným teplem (GCV) je označováno množství energie uvolněné při dokonalém spálení jednotkového množství paliva za předpokladu, že všechna vodní pára obsažená ve spalínách zkondenzuje. (*Klepárník, 2013*)

Zjišťování spalného tepla probíhá měřením v kalorimetru s tlakovou nádobou, nebo empiricky výpočtem z odvozené rovnice na základě dat zjištěných chemickým rozbořením paliva.

Rovnici pro výpočet spalného tepla odvodil Gaur a Reed na základě souboru 100 vzorků spalitelné biomasy, kde byla provedena primární analýza (obsah vody, popela, prchavé hořlaviny, pevného uhlíku) a elementární analýza (obsah C, H, S, N, O) a spalné teplo měřené kalorimetricky. (*Gaur a Reed, 1995*)

$$GCV = 0,3491.X_C + 1,1783.X_H + 0,1005.X_S - 0,0151.X_N - 0,1034.X_O - 0,0211.X_{ash} \quad (2)$$

Kde

GCV je spalné teplo [MJ/kg],

X_C je obsah uhlíku v sušině [wt%,db],

X_H je obsah vodíku v sušině [wt%,db],

X_S je obsah síry v sušině [wt%,db],

X_N je obsah dusíku v sušině [wt%,db],

X_O je obsah kyslíku v sušině [wt%,db],

X_{ash} je obsah popela v sušině [wt%,db],

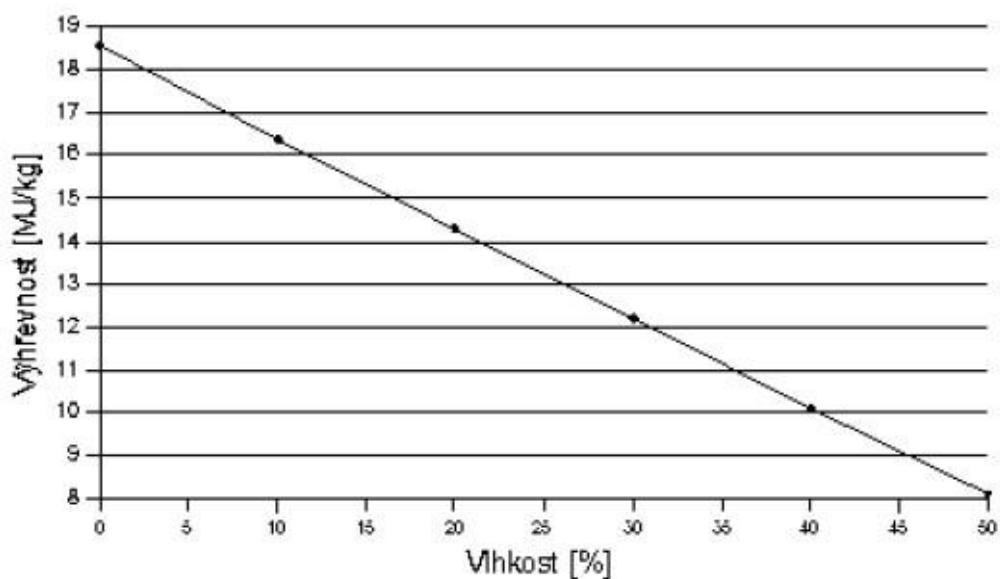
3.2.6. Výhřevnost

Výhřevnost (NCV) je definována jako množství získané energie dokonalým spálením jednotkového množství paliva za předpokladu, že všechna vodní pára obsažená ve spalínách odejde v plynném stavu. (Klepárník, 2013)

Reálná výhřevnost biomasy je závislá na obsahu vody, a materiálu, ze kterého je složena. Výhřevnost se tedy od spalného tepla liší spotřebovanou energií na odpaření vody, obsaženém v palivu.

$$NCV = [GCV - 0,2122 \cdot X_H - 0,0008 \cdot (X_O + X_N)] \left(1 - \frac{M}{100} \right) - 2,443 \cdot \frac{M}{100} \quad (3)$$

Tento vzorec je doporučen normou „Tuhá biopaliva- Specifikace a třídy paliv – Obecné požadavky“ (ČSN EN 14961-1:2010), jelikož zohledňuje přítomnost kyslíku a dusíku v biomase, které ovlivňují výhřevnost.



Obr.13- Graf závislosti výhřevnosti dřevěných pelet na obsahu vody. (Baláš, 2009)

3.3. Zpracování lesní biomasy

Ke zvýšení sypané hmotnosti a pro efektivnější využití přepravních prostředků se využívá dezintegrace dřevního materiálu, štěpkovači na štěpky. Takto upravený materiál je skladnější a snadněji manipulovatelný.

Vstupní surovinou pro štěpkování je dříví z klestu, prořezávkového materiálu, celých stromů, neodvětvených vrcholových částí stromů, tlustších listnatých větví, i z odřezků kmenového dříví (Simanov, 1993), popřípadě drcený odpad z dřevozpracujícího průmyslu (krajiny, oblíny, odřezky)

Štěpka je vyráběna ve třech základních skupinách:

1. Zelená štěpka s obsahem dřeva více než 45 %, příměsí kůry a zeleně do 55 %.
2. Hnědá štěpka s obsahem dřeva více než 70 %, příměsí kůry do 30 %.
3. Bílá štěpka vyrobená z ručně či strojově odkorněného dříví, případně materiálů vzniklých při zpracování. (Doporučená pravidla pro měření a třídění dříví, 2008)

Štěpkování je nejobvyklejší způsob dezintegrace nestandardního dříví. Bývá využíváno většinou samojízdných, ale i tažených či nesených sklízecích a stacionárních strojů. Principem štěpkování je dělení dříví podávaného podélně proti dělicímu nástroji.

3.4. Štěpkovače (drtiče) dřevní hmoty

3.4.1. Bubnové štěpkovače

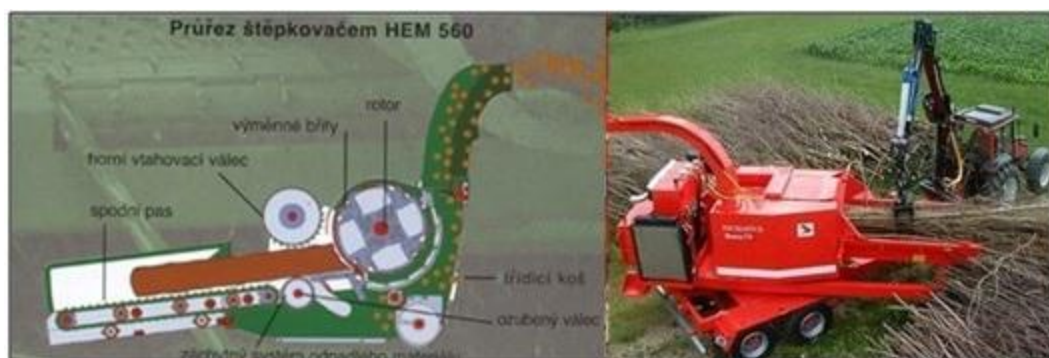
U bubnových štěpkovačů jsou nože umístěny na povrchu rotujícího válce, rovnoběžně s jeho osou. S ohledem na větší průměr pracovních bubnů, mají velký vstup, který je vhodný pro chaoticky vkládaný materiál. Na vstupu jsou použity mačkácí a podávací válce.

Nevýhodou širokého vstupního otvoru je možnost stočení krátkého podávaného materiálu a jeho sekání podél, čímž vznikají dlouhé třísky. Tuto vlastnost lze odstranit doplněním štěpkovače o výstupní síto, které zajistí opakovaný průchod nadměrné štěpky strojem.

Dalším nevýhodou bubnového štěpkovače je měnící se úhel řezu při průběhu sekání. Tím se mění geometrie štěpky a zhoršuje se její soudržnost. Při použití této štěpky pro energetické účely je tento problém zanedbatelný.



Obr.14 – Schéma bubnového štěpkovače (Pastorek, Kára, Jevič 2004)



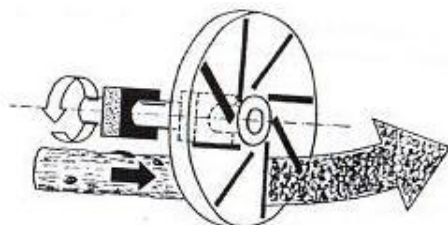
Obr.15 Schéma bubnového štěpkovače JENZ HEM 560

Vzhledem k velikému průměru rotujícího bubnu a celkové masivní konstrukci je drtič náročný na výkon (větší modely jsou konstruovány jako tažené s vlastní pohonnou jednotkou). Hodinové výkony nejvýkonnějších strojů jsou na hranici 200 prms.h⁻¹. Průměry zpracovávaného materiálu až do 900 mm měkkého dřeva a až 700 mm tvrdého.(Příhoda, 2008)

3.4.2. Diskové štěpkovače

U diskových štěpkovačů jsou nože upevněny na čelní straně rotujícího kotoučového disku, plnícího funkci setrvačníku, díky němuž je snazší překonávání nerovnoměrnosti v podávání materiálu ke štěpkování, i změny jeho tloušťky. Je tedy méně náročný na výkon motoru než bubnové štěpkovače. Důležité je, aby podávací otvor byl co nejdále od středu setrvačníku, neboť tam je obvodová rychlost nejmenší.

Tohoto štěpkovače je lépe využito u zpracování celých délek stromů, kmenů a rovaného dříví. Obtížně jsou zpracovány kratší kusy než 30 cm, pro chaotický materiál je nutno doplnit sekačku o podávací žlab s mačkacími válci. Štěpku vyrobenou z diskového štěpkovače lze považovat za kvalitnější než z bubnového štěpkovače. Podávání materiálu do štěpkovačů je od ručního po hydraulické ruky (Simanov, 1993).



Obr.16 – Schéma diskové sekačky (Pastorek, Kára, Jevič 2004)



Obr.17- Diskový štěpkovač Junkkari nesený traktorem.

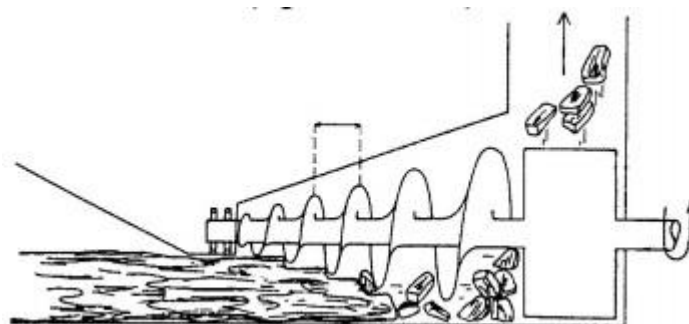
1- Vstupní násypka; 2 – Podávací mechanismus; 3 – Disk s vyhazovacími lopatkami; 4 – Směrovatelný výfuk štěpky; 5 – Bezpečnostní brzda

Diskové drtiče jsou méně náročné na pohonnou jednotku, často jsou řešeny jako přípojné příslušenství kolových traktorů. Hodinové výkony těchto štěpkovačů nepřesahují 30 prms.h^{-1} . (Příhoda, 2008)

3.4.3. Šroubové štěpkovače

Šroubové štěpkovače, nebo také šnekové, jsou používány pro malé tenké stromky a kmínky do průměru 10 cm na palivovou štěpku. Sekací ústrojí má podobu šroubovice se stoupajícím průměrem. Vrchol závitů je naostřen.

Šroubovice zajišťuje vtahování materiálu a ostří se zarývá hlouběji do štěpkovaného materiálu. Na konci šroubovice je kus odlomen a lopatkovým mechanismem vyhozen ze stroje potrubím. Těchto strojů je užíváno pro malé soukromé účely (Pastorek, Kára, Jevič, 2004). Nevýhodou je různorodá (nestandardní) frakce štěpek. Velikost je dána stoupáním šroubovice. Tyto stroje naopak mají malou energetickou náročnost. (Simanov, 2008)



Obr.18- Princip šnekového štěpkovače



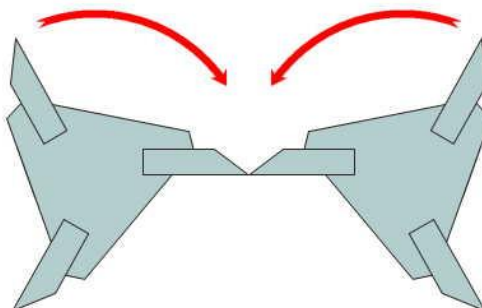
Obr.19- Mechanismus šnekového štěpkovače (Bystroň, 2007)

Šnekové štěpkovače jsou zpravidla konstruovány jako nesené za kolové traktory. Výkony takovýchto štěpkovačů se pohybují okolo 6 prms.h⁻¹. (Bystroň, 2007)

3.4.4. Válcový štěpkovač

Dřevní hmota je dělena noži na souběžných válcích. Velikost frakce, je ovlivněna průměrem válců (vzdáleností nožů), ale i průměrem zpracovávaného materiálu. S ohledem na značnou různorodost štěpek v rozmezí od 5 do 15 cm délek, což nevyhovuje normativním požadavkům na štěpku, je výstupem spíše krátké kusové dřevo. Dále jsou uvedena data drtiče dřevní hmoty (štěpkovače) Rojek DH 10 SP použitého k testování pro tuto práci.

Pomocí dvou nožových hřídelí, jejichž osy jsou 120 mm vzdáleny a nože seřizeny na vzdálenost v místě styku na 0,1-0,2 mm, což zajišťuje střížení i nejslabších větví.



Obr.20- Schéma nožových hřídelí (ROJEK 2013)

Materiálem pro výrobu nožů je nástrojová ocel. Jejich upevnění na hřídeli je pomocí šroubů. Pravidelným broušením dochází vlivem úbytku materiálu ke zkracování délky nože, aby nedocházelo k zvětšování mezery mezi noži jsou vkládány pod nůž podložky. Na jedno nabroušení je možné vyrobit 1000 až 5000 pytlů (76 až 384 m³). Životnost naostření ovlivňuje množství nečistot, které se do drtiče dostávají (hlína, kamínky, kovy,...) (Urban KOVO, 2014)



3.5. Sušení biomasy

Před dalším zpracováním je nutné snížit vlhkost biomasy. Vyšší vlhkost zhoršuje průběh spalování (nižší výhřevnost, horší emise). Pro výrobu pelet je vlhkost vstupní suroviny velmi důležitým parametrem. Sušení je energeticky nejvíce náročná operace z celé výroby pelet, energetické biomasy. Zvyšující náklady na konečný produkt. Výhodné je využití tzv. odpadního tepla kotelny, bioplynové stanice, atd., popřípadě solární energie.

3.5.1. Nucené sušení

Nucené sušení je prováděno v sušárnách dodáním ohřátého media. Čas potřebný pro snížení vlhkosti se tak sníží na minimum. Jako médium je používán vzduch, spaliny, pára, a další. Důležitým parametrem při snižování vlhkosti je poměr povrchu a objemu. Sušárny lze dělit do dvou kategorií, podle způsobu poskytování tepla.

Sušárny přímé - sušený materiál je přímým v kontaktu s médiem přivádějícím teplo.

Sušárny nepřímé - materiál je oddělen od zdroje tepla výměníkem. Výhodou metody s nepřímým sušením je možnost rekuperace tepla.

Sušení každého materiálu je rozděleno na několik kroků. V první fázi je materiál ohříván na teplotu, při které je sušen. V další fázi dochází k vysušení vody na povrchu. Tato fáze je velmi rychlá. V poslední fázi dochází k sušení se současným zvlhčováním, souběžně teplota klesá. Je zde využito vysoké teploty pro přenos tepla s minimalizací velikosti zařízení. Naproti tomu je zde riziko samovznícení biomasy (*Wade, 1998*).

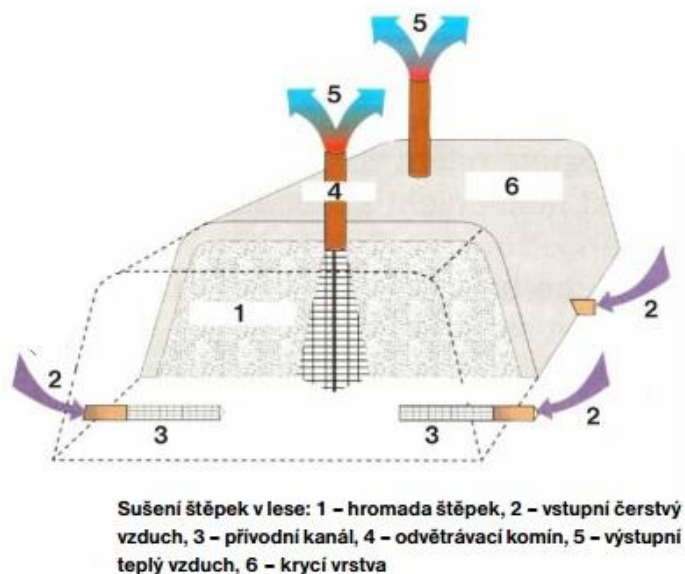
3.5.2. Přírozené sušení

Principem tohoto systému je využití přírodních podmínek (teplota, proudění vzduchu). Metoda je využívána pro sušení řeziva v hraních, kde jsou jednotlivá patra oddělena prokládky zajišťující proudění vzduchu.

Sušení štěpek, popřípadě krátkého kusového dříví má v tomto několik nedostatků. Vysoká počáteční relativní vlhkost od 45 % do 55 %, která je pro energetiku hraniční hodnotou, jemnost frakce znesnadňující průnik vzduchu. Často dochází na skládkách štěpky uvnitř hromad k zapaření, plísním, a degradaci hmoty. Z tohoto důvodu je nutno hromadu promíchávat. Štěpku lze vyrábět z již proschlého materiálu, kde vlhkost nepřekročí 30 % a napadení plísní nehrozí.

Sušení vlastní energií využívá mikrobiálního rozkladu lehce rozložitelných tuků, bílkovin, aminokyselin a škrobů, při kterém vzniká teplo. Studený vzduch je přiváděn co nejbližší k zemi kanálem, průchodem hromadou se zahřívá. Teplý vzduch odvádí vlhkost mimo sušený materiál a studený přivádí kyslík potřebný pro mikrobiální rozklad.

Vlhkost štěpek takto může do 14 dnů klesnout na 20 % relativní vlhkosti. (Simanov, 2013)



Obr.22 – Schematické znázornění principu sušení vlastní energií (Simanov, 2013)

4. Materiál a metodika:

4.1. Energetická náročnost výroby krátkého kusového dříví

Pro měření energetické náročnosti výroby biopaliv byl použit štěpkovač DH 10SP vyroben firmou Rojek v úpravě (snížením podvozku) pro snadnější přepravu na pozemních komunikacích (*Klepárník a Veverka, 2011*). Drtič je vybaven vzduchem chlazeným čtyřtákním motorem Honda GX160 o výkonu 3,6/4,8 kW/hp (*Honda, 2012*).

Měření probíhalo pravidelným sledováním spotřeby na různých druzích dřevin a křovin. Současně byl sledován hodinový výkon stroje drcením do nádob známých objemů.



Obr.23- Drtič DH 10 SP na speciálním vleku

4.1.1. Měření výnosu topolové plantáže, sklizně a drcení

Na části šestiletého porostu topolové plantáže o výměře 500 m² bylo měřeno několik faktorů. Časy potřebné na provedení jednotlivých operací, tedy těžbu, přiblížení a štěpkování. Dále byla měřena sypná hmotnost a spotřeba paliva drtiče a motorové pily.

Ruční motorovou pilou Stihl MS 250, byly topoly řezány ve výšce přibližně 20 cm od země z důvodu následného obrostu. Dle výpočtu odpovídal požadavku na výrobu jednoho m³ štěpek cca jeden řádek. Pro získání více dat byly sklizeny dva řádky. Odřezané stromky byly po odříznutí sneseny na hromadu, kde následně docházelo k drcení. Tato operace byla provedena z důvodu minimalizace časových prostojů drtiče a pro jeho špatnou manipulaci mezi řadami. Sběr štěpky probíhal dvojím způsobem, odpadááním špalíků do připraveného dřevěného boxu, a odpadááním špalíků do koše s následným přesypáním do boxu. Druhý způsob byl použit pro box s odvětrávacím komínkem, z důvodu rovnoměrného uložení materiálu.



Obr.23- Topoly před sklizní



Obr.24- Těžba motorovou pilou Stihl



Obr.25- Pokácený řádek topolů



Obr.26- Drcení topolu do odměrné nádoby

4.2. Popis drcených druhů

Tato kapitola bude věnována druhům dřevin a křovin, na kterých byl testován drtič dřevná hmoty DH 10 Sp, měřena hodinový výkon, a spotřeba stroje.

4.2.1. Topol černý x maximovič

Lat. *Populus nigra x maximowiczii*. Listnatý opadavý strom, může dorůst výšky až 30 m, barva dřeva bělí je bílá až nahnědlá, jádro může být zbarveno nahnědle, šedohnědě, zelenohnědě až tmavohnědě. Hustota dřeva nabývá hodnoty 390 kg.m^{-3} při 0 % vlhkosti (*Vavrčík, 2002*). Výhřevnost dřeva z biomasy (japonského topolu) se pohybuje mezi 4,3 - 4,5 kWh, 14,5 MJ na 1 kg dřeva při 20 % vlhkosti (dřevní hmota při přirozeném odvětrání se sníží na 20 % za 1 rok) (*www.rrd-japonskytopol.cz, 2012*).

Využívá se na výrobu dýh, překližek, dřevotřískových a dřevovláknitých desek, zápalek, částí hudebních nástrojů, rakví, v celulozopapírenském průmyslu, energetické využití.

4.2.2. Smrk ztepilý

Lat. *Picea abies*. Jehličnatý neopadavý strom dosahující výšky až 50 m. Jehlice 1 – 25 mm dlouhé na konci zašpičatělé opadávají ve věku 5 až 7 let. Barva dřeva bělí žlutohnědá až světle žlutohnědá. Hustota dřeva je 420 kg.m^{-3} při 0 % vlhkosti dřeva (*Vavrčík, 2002*). U nás se jedná o nejvíce průmyslově využívanou dřevinu. Dřevo je lehké, pevné, pružné, měkké a méně trvanlivé. Široké spektrum využití ve stavebnictví, nábytkářství, stavebně truhlářská výroba, hudebních nástrojích, v celulozopapírenském průmyslu, pro výrobu dřevotřískových desek.

4.2.3. Habr obecný

Lat. *Carpinus betulus*. Jedná se o opadavý, až 30 metrů vysoký strom. Zbarvení dřeva je šedobílé až žlutobílé. Dřevo je houževnaté. Hustota dřeva je 750 kg.m^{-3} při 0 % vlhkosti (*Vavrčík, 2002*). Využívá se na dřevěné nástroje, drobné sportovní potřeby, hudební nástroje, v soustružnictví, celulozopapírenském průmyslu, a na výrobu dřevěného uhlí.

4.2.4. Dub letní

Lat. *Quercus robur*. Jedná se o velmi pomalu rostoucí, opadavý až 40 metrů vysoký strom. Barva běle je nažloutlá až světlehnědá, jádro bývá světlé až světlehnědé. Hustota dřeva dosahuje 680 kg.m^{-3} (*Vavrčík, 2002*). Dřevo je velmi trvanlivé a tvrdé, proto se využívá ve stavebnictví – vodní stavby, nábytkářství, výrobě dřevěného uhlí, na výrobu parket a železničních pražců.

4.2.5. Třešeň ptačí

Lat. *Cerasus avium*. Strom dorůstající výšky až 30 metrů. Běl dřeva je úzká světlé růžová až červená, jádro je světlé až červenohnědě zbarveno. Dřevo je méně trvanlivé a málo odolné proti biotickým škůdcům. Hustota dřeva je 570 kg.m^{-3} (*Vavrčík, 2002*). Využívá se v nábytkářství, pro výrobu hudebních nástrojů, řezbářství a soustružnictví.

4.2.6. Jabloň lesní

Lat. *Malus sylvestris*. Jde o opadavý strom malého vzrůstu, který nepřesahuje výšky 10m. Barva běle je narůžovělá, jádro je červenohnědě až hnědě zbarvené. Hustota dřeva je 640 kg.m^{-3} (*Vavrčík, 2002*). Dřevo se využívá okrajově v truhlářství, řezbářství, soustružnictví, a drobné předměty.

4.2.7. Švestka domácí

Lat. *Prunus domestica*. Rostlina s keřovitou popřípadě stromovitou formou vzrůstu nepřesahující výšku 10m. Běl dřeva je nažloutlá, jádro narůžovělé až červenohnědé. Hustota dřeva 720 kg.m^{-3} (*Vavrčík, 2002*). Nejčastěji se využívá jako dekorativní dřevo v řezbářství, truhlářství.

4.2.8. Střemcha obecná

Lat. *Prunus padus*. Tato rostlina nabývá keřovité nebo stromovité formy nepřesahující výšku 15 metrů. Dřevo je nahnědlé. Využívá se v řezbářství.

4.2.9. Svída krvavá

Lat. *Swida sanguinea*. Až tři metry vysoký keř s nápadně červenými větvemi. Listy vstřícné, krátce zašpičatělé, se třemi až čtyřmi páry postranních žilek. Květy uspořádány ve vrcholících. Plodem je černomodrá peckovice. Vyskytuje se v listnatých lesích a na křovinatých stráních teplejších oblastí. (Čihař a kol., 1978)

4.2.10. Krušina olšová

Lat. *Frangula alnus*. Dorůstá výšky tři metrů, průměru větví až 6 cm. Keř se střídavými listy, eliptickými nebo obvejčitými. Květy ve svazečcích v úžlabí listů. Plodem je červená po dozrání černá peckovice. Vyskytuje se ve vlhkých lesích a v pobřežních křovinách. (Čihař a kol., 1978)

4.2.11. Bez černý

Lat. *Sambucus nigra*. Až sedm metrů vysoký keř nebo malý strom. Větve mají bílou dřev. Listy jsou lichozpeřené, rozemnuté nepříjemné vůně. Květy uspořádané ve vrcholících, pronikavě vonící. Plody jsou červenofialové tmavé peckovice. Vyskytuje se v lesích, kolem plotů, v pobřežních houštinách, a na rumišťích. (Čihař a kol., 1978)

4.3. Sušení krátkého kusového dříví

Pro sušení přirozeným způsobem byl použit drcený vzorek kříženec topolu černého a maximoviče.

Po nadrcení vzorku do odměrných nádob, palet s nástavbou, byly tyto boxy zváženy na můstkové váze a pomocí gravimetrické metody stanovena vlhkost při sklizni. Přirozené sušení probíhalo 30 cm nad zemí na větrném, zastřešeném místě. Další měření následovalo po 2 měsících.

Boxy pro sušení měly dvě varianty.

1. Nástavba na paletě s větraným dnem a boky.
2. Nástavba na paletě s plným dnem, větranými boky a centrální větrací trubkou.

4.4. Měření vlhkosti

4.4.1. Elektrická metoda

Při zjišťování vlhkosti krátkého kusového dříví elektrickou metodou byl použit hrotový odporový vlhkoměr ELBEZ WHT 860.

Metoda měření odporovým vlhkoměrem spočívá na změně odporu (vodivosti) dřeva v závislosti na jeho vlhkosti integrovanou hrotovou sondou. Přístroj změří hodnotu elektrického odporu a pomocí integrovaných charakteristik přepočítá na absolutní vlhkost materiálu. Při stanovování je nutná teplotní kompenzace prostředí. Zjišťování obvykle probíhá zabodnutím hrotů (hřebů) do materiálu. Obvyklá přesnost měření se pohybuje od 0,5 do 2 %. Metoda je vhodná pro větší kusy dřeva, kam lze zařadit i krátké kusové dříví v předmětu této práce.



Obr.28- Hrotový odporový vlhkoměr

4.4.2. Gravimetrická metoda

Stanovení vlhkosti bylo provedeno gravimetrickou metodou pomocí vlhkostního analyzátoru KERN MLB 50-3N.

Gravimetrická metoda vychází z diferenčního vzorce vlhkosti podle rovnice (1). Je nejpřesnější metodou určení vlhkosti biomasy a referenční metodou při posuzování přesnosti ostatních metod.

$$W_R = \frac{m_w - m_0}{m_w} \quad (1)$$

W_r – relativní vlhkost biomasy

m_w - hmotnost vlhké biomasy

m_0 – hmotnost absolutně suché biomasy

Principem metody je zjištění hmotnosti vlhkého vzorku a absolutně suchého vzorku po jeho vysušení při teplotě $103 \pm 2^\circ\text{C}$. Výhodou této metody je její přesnost, nevýhodou je vysoká náročnost na čas, pracnost přípravy vzorků, nemožnost kontinuálního měření vlhkosti.

Na tomto principu fungují halogenové a infračervené sušicí váhy, u nichž je proces sušení rychlejší a rovnoměrnější. U halogenových přístrojů proniká záření dovnitř vzorku, kde se transformuje v tepelnou energii a materiál je ohříván zevnitř na povrch, oproti klasickému sušení, kde proud horkého vzduchu zahřívá materiál z povrchu dovnitř. Touto technologií je zkrácena doba sušení, ale i přesto trvá jedno měření v závislosti na vlastnostech vzorku od 20 do 70 minut (Baláš, Moskalík 2011).

Analyzátor vlhkosti KERN MLB 50-3N slouží pro stanovení vlhkosti a sušiny. Ohřev vzorku je prováděn pomocí halogenového zářiče o výkonu 400W. Rozsah vážení vah je 50g s přesností na 0,001g. Přístroj umožňuje po vložení vzorku zjistit jeho hmotnost uložit od paměti a po dobu průběhu programu až do jeho konce stanovovat vlhkost, bez jakékoli manipulace se vzorkem.

Pro stanovení vlhkosti byl nastaven program analyzátoru s okamžitým nástupem teploty na $103 \pm 2^\circ\text{C}$ a ukončením programu v případě, kdy se nemění hodnota vlhkosti po dobu 60 sekund.



Obr.27– Analyzátor vlhkosti KERN MLB 50-3N

4.4.3. Stanovení sypné hmotnosti

Sypná hmotnost tuhých paliv se společně s výhřevností využívá pro stanovení využitelné energetické hodnoty paliva. Z praktického hlediska umožňuje stanovit nároky na skladovací prostory, a potřebnou velikost transportního prostředku. Stanovení sypné hmotnosti se provádí podle ČSN EN 15103:2010. Tato norma definuje sypnou hmotnost tuhých paliv s poměrně malou velikostí frakce (pelety, normovaná štěrka, malé brikety), pro účely měření se používá pevné nádoby o objemu 5 nebo 50 litrů.

4.4.4. Sypná hmotnost pelet

Princip měření spočívá v zvážení známého objemu nasypaného paliva umístěného do vhodné nádoby. Na palivo je působeno řízeným nárazem, při kterém dojde ke zhutnění paliva. Vzniklý objem je doplněn a zarovnan dřevěným hranolem. Následně je palivo zváženo.

Nádoba je specifická válcovitým tvarem s hladkým povrchem, odolná nárazu. Poměr výšky a průměru musí být v poměru 1,25-1,5 : 1. Malá nádoba má objem 5 litrů $\pm 2 \%$ a je použitelná pro paliva s horním nominálním průměrem do 12 mm včetně. Velká nádoba má objem 50 litrů $\pm 2 \%$, použitelná pro všechny paliva specifikovaná v předmětu normy.

Váhy pro velkou nádobu váží s přesností 10 g, pro malou nádobu s přesností 1 g. Řízený náraz je proveden třikrát po naplněné nádobě. Nádoba je spuštěna volným pádem z výšky 150 mm na podložku z OSB desky o tloušťce 15 mm.

Výpočet sypné hmotnosti je proveden dle vztahu:

$$BD_{ar} = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

Kde, BD_{ar} je sypná hmotnost v původním stavu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
 m_1 je hmotnost prázdné nádoby [kg]
 m_2 je hmotnost plné nádoby [kg]
 V je objem nádoby [m^{-3}]

Není zde kalkulováno s bobtnáním a sesýcháním paliva, z tohoto důvodu jsou výpočty pouze orientační.

Sypná hmotnost je zjišťována jako aritmetický průměr minimálně dvou vzorků. Bezprostředně po zvážení je nutné stanovit vlhkost paliva.

Pro opakovatelnost měření vzorků s $BD < 300 \text{ kg.m}^{-3}$ jsou přípustné rozdíly do 3,0 %, pro $BD \geq 300 \text{ kg.m}^{-3}$ do 2,0 %. Pro reprodukovatelnost $BD < 300 \text{ kg.m}^{-3}$ je přípustný rozdíl do 6,0 %, pro $BD \geq 300 \text{ kg.m}^{-3}$ do 4,0 %.

4.4.5. Sypná hmotnost krátkého kusového dříví

Tuhá paliva typu kusové dřevo, nedrcená kůra, větší brikety z důvodu omezeného objemu byla vyloučena z normy ČSN EN 15103:2010. Do této kategorie lze zařadit i krátké kusové dříví, vzhledem ke značným rozdílům velikosti frakce.

Pro druhou kategorii je obvyklé zjišťování sypné hmotnosti, měřením hmotnosti v nádobě se známým objemem, nebo zvážením transportního prostředku.

Z důvodu složitější manipulace s krátkým kusovým dřívím v terénu bylo využito několik nádob pro zjišťování.

1. Vyrobená nástavba na europaletu pro jednoduchou manipulaci (měření topolu černého)
2. Drcení do přívěsného vozíku a následné přesypání do Big-Bagu (ostatní druhy)



Obr.29- Drcení suchého smrkového klestu do přívěsného vozíku používaného jako odměrnou nádobu

Jako zhutňovacího procesu bylo využito krátkých přejezdů mezi hromadami klestu. Při překládání byl dbán důraz na minimální ztráty. Měření hmotnosti bylo prováděno na můstkové váze s váživostí 500 kg. Tyto váhy jsou využívány jako informační měřidlo pro zemědělskou činnost, obvyklá přesnost ± 1 kg.



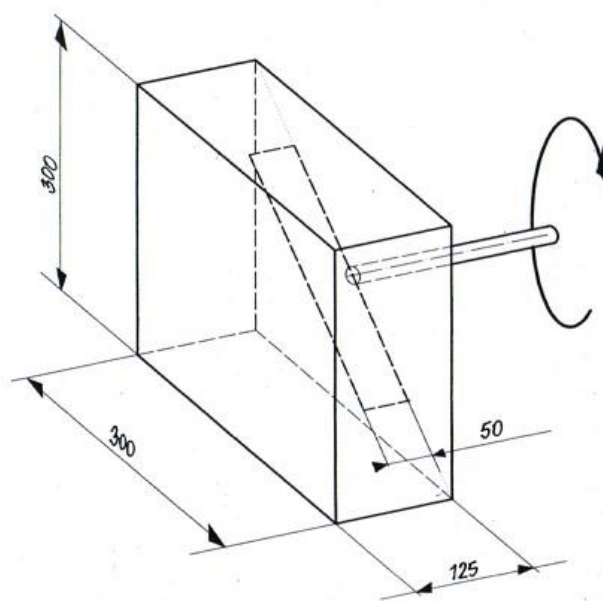
Obr.30- Můstková váha

Po měření hmotnosti byly odebrány vzorky pro stanovení vlhkosti. Výpočet vlhkosti byl proveden podle vzorce (1) pro výpočet relativní vlhkosti dřeva využívaného v energetice.

4.5. Zjišťování mechanické odolnosti pelet

Pro měření mechanické odolnosti pelet byl použit přístroj Peltest vyvinutý na Ústavu lesnické a dřevařské techniky, Mendelovi univerzity v Brně. (Klepárník, 2009)

Přístroj vychází z testovacího standardu ASAE (ASAE S 269.4, 1996), který je tvořen zásobníkem tvaru kvádrů o hranách 300 x 300 x 125 mm. Tento zásobník je naplněn peletami o hmotnosti 500 g (hmotnost m_E), ze kterých byly pomocí sít odstraněny drobné frakce .



Obr.31 – Schéma bubnu pro ověřování mechanické odolnosti pelet. (Lyčka, 2011)

Účelem testu je prověření mechanické odolnosti pelet rotujících v uzavřené komoře, při 50-ti otáčkách za minutu po dobu 10-ti minut. Potřebnou rychlost otáčení zajišťuje frekvenční měnič prostřednictvím asynchronního elektromotoru s převodovkou. Po dokončení dojde k opětovnému přesítí na sítu o velikosti otvorů 3,15 mm, zbylé pelety se zváží (hmotnost m_A). Konečný výsledek je aritmetickým průměrem testu tří vzorků. Dosazením do vzorce (1) je vypočítán podíl frakce větší než 3,15 mm v procentech.

4.5.1. Dřevní peleta

Pro výrobu dřevní pelety je obvykle využíváno dřevního odpadu jako pilin, kůry, štěpky. Podle toho jsou děleny na bílou - vyrobenou z čistého dřeva, hnědou – vzniklou slisováním dřeva a příměsí kůry. (Klepárník, 2013)

Podle EN 14961 – 2 Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv – Dřevní pelety pro maloodběratele jsou rozděleny do tří kategorií, kde :

Kategorie A1- pelety vyrobené z chemicky neošetřeného dříví, maximální množství příměsí kůry do 0,3 %.

Kategorie A2 – je vyrobena z chemicky neošetřeného dříví, i z celých stromů včetně kůry, bez kořenů. Obvykle se jedná o běžnou katrovou peletu vyrobenou z odpadu při těžbě a na pilách. Pelety mají tmavší barvu oproti bílé peletě. Při spalování vzniká více popela, který je spékavý.

Kategorie B – jsou složeny z jakékoli dřevní biomasy, mohou obsahovat i chemicky ošetřené dřevní zbytky. Odpad z nábytkářského průmyslu, recyklované stavební dřevo, obaly, a další. Nesmí obsahovat těžké kovy, nebo halogenové organické sloučeniny. Spalování vyžaduje vysokou úroveň řízení spalovacího procesu a čištění spalin. (Lyčka, 2011)

4.5.2. Alternativní pelety

Základní surovinou pro výrobu alternativních pelet jsou rostliny a jejich části. Podle druhu lisovaného materiálu se dále dělí na:

1. Agropelety – vyráběny ze zemědělských komodit a odpadů jako jsou energetické rostliny, řepkové a obilné slámy, sena, zbytků po čištění zrnin a olejnin, a pokrutin tj. (zbytků po lisování rostlinných olejů).
2. Ostatní – vznikají využitím materiálů typu drcený papír, uhelný prach, případně jejich kombinací se zemědělskými komoditami. (Verner, 2007)

Tab.6 – Porovnání parametrů dřevěných a alternativních pelet

Parametr	Dřevěné pelety	Alternativní pelety
Výhřevnost [MJ.kg^{-1}]	17,5 – 19,5	14 - 18
Měrná hmotnost [kg.m^{-3}]	1000 - 1400	900 - 1200
Sypná hmotnost [kg.m^{-3}]	600 - 800	550 - 750
Popelnatost [%]	0,5 – 2,5	1,0 – 9,0

5. Výsledky a vyhodnocení

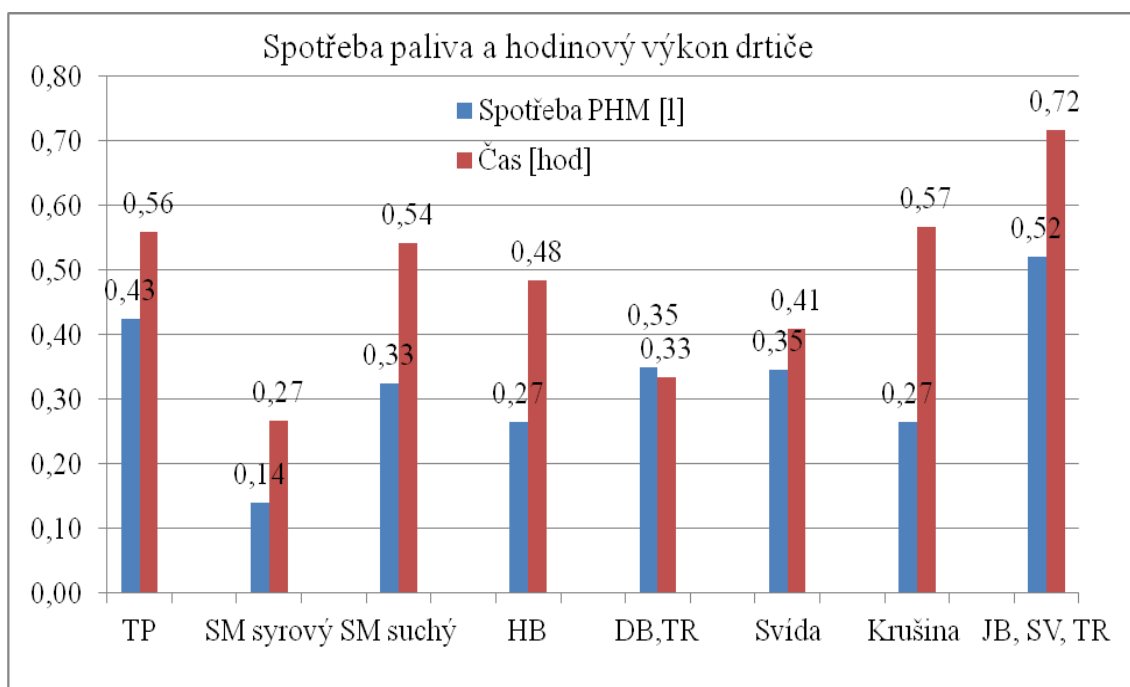
5.1. Sklizeň topolové plantáže

Tab.7- Těžba klonu topolu a následné operace

Operace	Čas	Spotřeba PHM [l]
Těžba	7 min / 120 ks	0,12
Přiblížování	48 min / 240 ks	
Drcení	32 min / m ³	0,53
	35 min / m ³	0,35
Doprava	2 km	1,2

Tabulka popisuje operace prováděné při sklizni na topolové plantáži, jejich časovou náročnost a naměřenou spotřebu pohonných hmot. Maximální průměr kmene topolů nepřesáhl 8 cm. Přiblížování k drtiči probíhalo ručně do vzdálenosti 100 metrů. Rozdíl spotřeby paliva v drcení je dán snížením otáček pohonné jednotky, které bylo umožněno lepší souhrou pracovního týmu, změnou metody vkládání materiálu a plnění boxu. U prvního docházelo k odpadávání špalíků přímo do boxu, do 2/3 probíhalo plnění bezobslužně, v okamžiku dosažení hladiny špalíků výstupu drtiče docházelo k ucpávání. Druhý box byl plněn způsobem přesypávání špalíků z koše umístěného pod výstupem drtiče, přestože došlo k prodloužení času na m³, bylo plnění boxu plynulé, zatímco v prvním případě bylo plnění 3/3 z výše popsanych důvodů výrazně pomalejší. Veškeré operace při sklizni byly prováděny dvěma pracovníky.

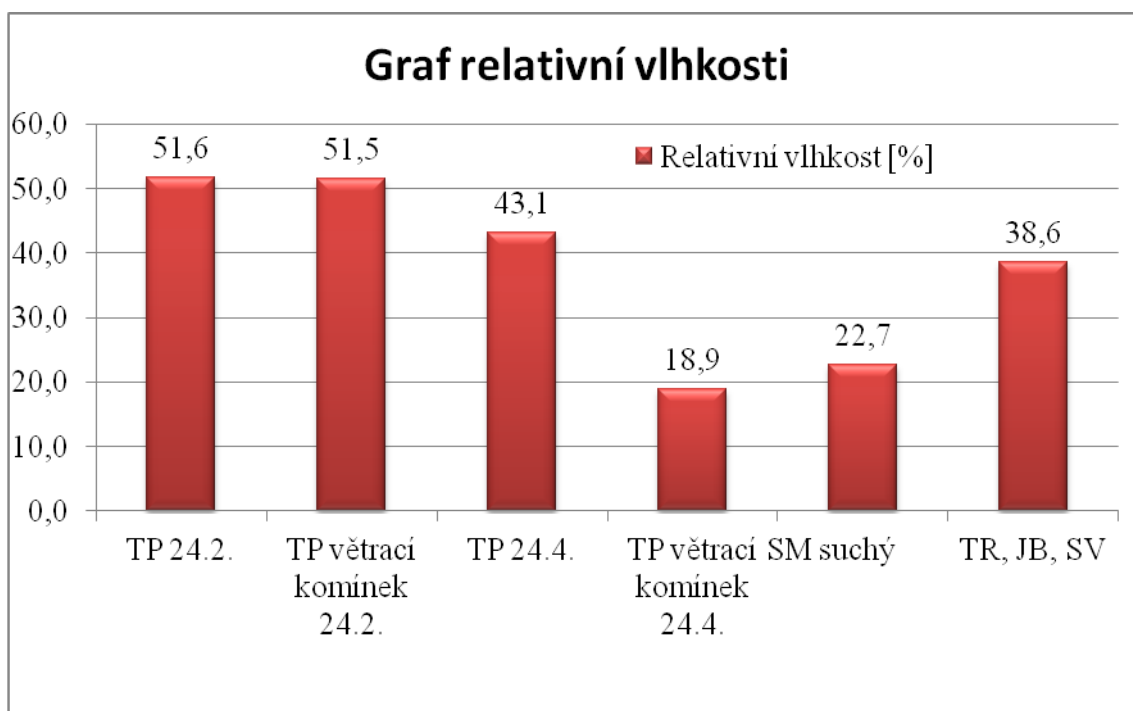
5.2. Výsledky měření spotřeby a výkonu drtiče DH 10 Sp



Obr.31- Sloupcový graf spotřeby paliva (modrá) a výkonu drtiče (červená)

Ze sloupcového grafu je patrný rozdíl spotřeby paliva na prostorový metr hmoty a hodinového výkonu. Vlivy které působí na tyto parametry jsou průměr a druh drceného materiálu, rozvětvenost (košatost), vzdálenost materiálu k drtiči. Výrazný rozdíl je mezi suchým a syrovým smrkem z čehož lze usuzovat na pozitivní korelaci vlhkosti materiálu a spotřebě paliva. Relativně vyšší spotřeba paliva u zpracování TP je zapříčiněna nezkušeností týmu při první práci se strojem. Nabytím zkušeností došlo ke snížení spotřeby.

5.3. Sypná hmotnost a sušení křížence topolu



Obr.32- Sloupcový graf relativních vlhkostí vybraných druhů

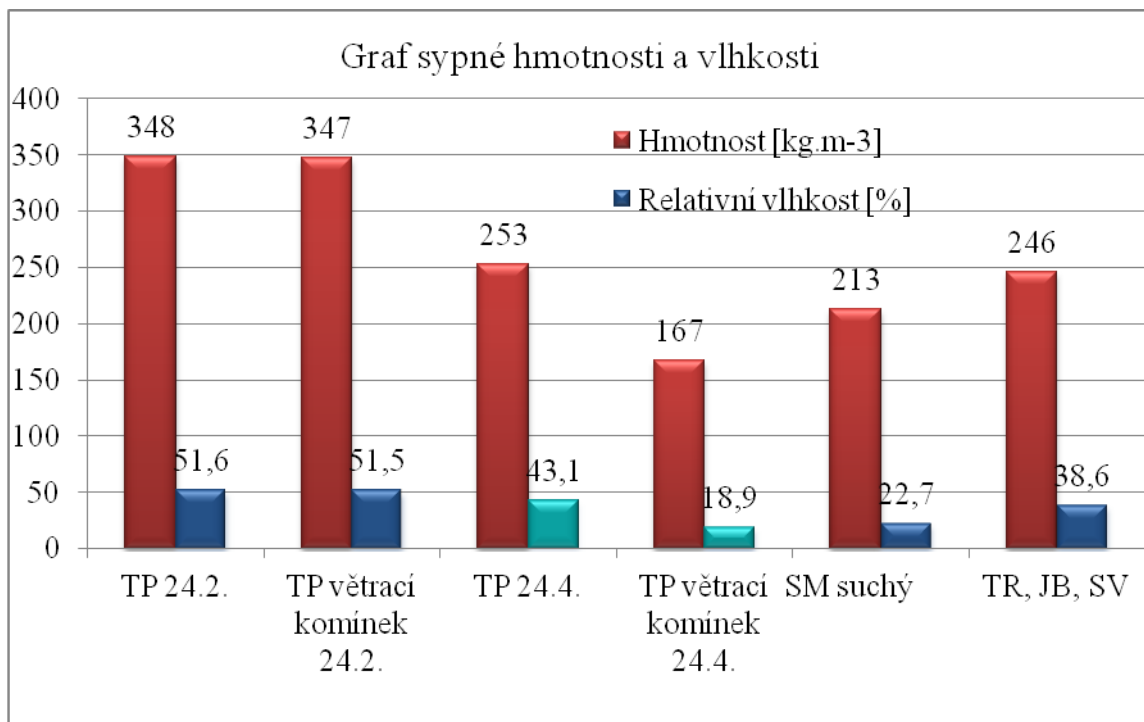
Graf zobrazuje relativní vlhkost v průběhu přirozeného sušení topolu v boxech. Pro porovnání je doplněn hodnotami smrku při cca 22,7 % vlhkosti a směsi třešeň/švestka jako zástupce tvrdých dřevin. Výrazný rozdíl vlhkosti je mezi topolem s větracím komínkem a bez něj po 2 měsíčním sušení v krytém přístřešku. Větrací komínek zajišťoval intenzivní proudění vzduchu čímž bylo umožněno rovnoměrnější vysušení v celém objemu. Oproti tomu v boxu bez komínku navzdory relativně velkým kusům dřeva k proudění v dostatečné míře nedocházelo, vysychání materiálu je výrazně intenzivnější v okrajových částech obzvláště jsou-li vystaveny slunečnímu záření a intenzivnímu proudění vzduchu. V tomto boxu se vlhkost směrem ke středu zvyšovala, zároveň bylo zjištěno napadení plísněmi.



Obr. 33- Box krátkého kusového dříví s větracím komínkem



Obr. 34- Napadení špalíků plísní v boxu bez větracího komínku



Obr.35- Sloupcový graf sypné hmotnosti krátkého kusového dříví různých druhů dřevin

Důležitým parametrem pro sypnou hmotnost je aktuální relativní vlhkost dřeva. Z grafu pro sypné hmotnosti je patrná snižující se hmotnost u sušeného topolu, kdy při vlhkosti 18,9 % dosahuje hodnoty 167 kg.m⁻³, zatímco smrk při 22,7 % má hodnotu 213 kg.m⁻³. S přihlédnutím na minimální rozdíl vlhkosti má na sypnou hmotnost podstatný vliv hustota dřeva.

5.4. Sypná hmotnost pelet

Tab.8 – Hodnoty sypné hmotnosti pelet SM d08

Měření	Hmotnost [kg]	BD [kg.m ⁻³]
1.	7,68	650,44
2.	7,55	639,44
3.	7,86	665,25
4.	7,78	658,90
5.	7,96	673,72
Průměr	7,67	657,55

Smrkové pelety průměru 8 mm mají sypnou hmotnost 657,6 kg.m⁻³, čímž spadají do prostředí skupiny dle EN 15103 BD650 (≤ 650 kg.m⁻³).

5.5. Měření vlhkosti pelet

Tab. 9 Hodnoty relativní vlhkosti pelet SM d08

Měření	Vlhkost [%]
1.	11,73
2.	11
3.	11,43
4.	10,69
Průměr	11,21

Smrkové pelety průměru 8 mm použité v této práci vykazují relativní vlhkost 11,21 %. Hodnota přesahuje maximální doporučenou 10 % hranici (*Stupavský, 2010*). Při vyšší vlhkosti dochází k snížení mechanické odolnosti a také výhřevnosti. Zvýšená vlhkost měřeného vzorku byla dána nevhodným skladováním volně ložených pytlů na paletách ve venkovních prostorech bez přístřešku.

5.6. Hustota pelet

Tab. 10 – Naměřené a vypočítané hodnoty hustoty pelet SM d08

Měření	Průměrné hodnoty 4 vzorků			Hustota pelety [kg.m ⁻³]
	Délka pelet [mm]	Průměr pelet [mm]	Hmotnost [g]	
1.	11,71	8,30	2,06	1084,09
2.	9,63	8,30	2,17	1040,91
3.	9,53	8,30	2,14	1040,04
4.	11,63	8,30	2,00	1059,68
5.	10,09	8,30	2,18	1000,37
Průměr				1045,02

Průměrná hustota použitých smrkových pelet (1045 kg.m⁻³) je nízká, čímž poukazuje na jejich nižší kvalitu. Obvyklá hustota pelet je od 1100 kg.m⁻³ (*Lyčka, 2011*).

5.7. Mechanická odolnost pelet

Tab.11 – Výsledky mechnické odolnosti testovaných pelet

Materiál	Mechanická odolnost DU [%]
Pelety SM 1	97,7
Pelety SM 2	98,3
Pelety SM d08	95,0
Pelety sláma, pšenice	94,7
Pelety sláma, pšenice + otruby 5 %	97,4
Pelety chrastice	93,3

Smrkové pelety mají podíl menších částic do 3,15 mm po ověření odolnosti v rozmezí 1,7 až 2,3 %, tato hodnota spadá do první kategorie, tedy nejkvalitnější z hlediska mechanické odolnosti. Pelety SM d08 použité k měření pro účely této práce, vykazují menší mechanickou odolnost (odrol 5 %), z předešlých testů vyplývá, že jde o důsledek vyšší relativní vlhkosti 11,23 % a nízké hustoty pelet. Agropelety mají podíl jemných částic pod 3,15 mm více než 5 %. Vzorek agropelet složený ze slámy, pšenice a otrub vykázal větší otěruvzdornost 2,6 %.

5.8. Porovnání krátkého kusového dále KKD dříví a pelet pro vytápění

Při porovnání KKD a pelet jakožto rozdílných technologií je třeba pohledu z více stran. Energetická náročnost, náklady na vybudování kotelny, cena paliv jsou základními kritérii.

Tab.12 – Porovnání nákladů na technologie a palivo do 30 kW

Krátké kusové dříví		
Kotelna	Verner V 210 Extra	71 390,-
	Aku „PR“ 1500 l	36 288,-
Náklady na palivo	1 prms	450 -500,-
Zapůjčení drtiče	Rojek DH 10 Sp	1000,-/den
Náklady na samovýrobu	1 hod práce drtiče	30,-
Pelety		
Kotelna	Verner A251	131 890,-
Náklady na palivo	Dřevní pelety	Od 5,5,-/kg
	Agropelety	Od 3,5,-/kg

Verner V 210 Extra má jmenovitý výkon 20 kW s možností regulace výkonu od 50 % do 120 %, Účinnost dosahuje 91 %, Dlouhá doba hoření na jedno přiložení až 15 hodin. Efektivně spaluje kusové dřevo, štěpku a piliny). Lze zapojit i bez akumulární nádoby. (*Verner 210 Extra, 2015*)

Doplněním o akumulární nádrž o objemu 1500 l je využit plný výkon kotle, snížena spotřeba paliva. Okruh ohřevu akumulární nádoby kotlem je oddělen od okruhu vedoucího teplo k následnému vytápění. (*Rojek, 2015*)

Verner A251 o nominálním výkonu 25 kW s možností regulace výkonu od 30 % do 120 %. Účinnost kotle dosahuje 92 % se schopností spalovat dřevěné pelety, průmyslové pelety, agropelaty, obilí a dalších 57 druhů paliv. Provoz kotle je plně automatizován. (*Verner A251, 2015*)

Materiál pro výrobu KKD je ovlivněn místními poměry, klest je možno pořídit za minimální až nulovou cenu. Největší nákladovou položkou u výroby KKD je čas potřebný ke zpracování vstupní suroviny.

Tab.13 – Výpočet hmotností paliva a skladovacích prostorů a cen za topnou sezónu pro jednotlivé druhy paliv

		Jednotka	Kategorie energetické náročnosti budov						
			A	B	C	D	E	F	G
			kWh.m ⁻²	51	74,5	119,5	166,5	216	263,5
Spotřeba en.	kWh/a	7650	11175	17925	24975	32400	39525	43200	
KKD TP	Hmotnost paliva	kg	2110	3082	4943	6887	8934	10899	11913
	Skladovací prostor	m ³	13	18	30	41	53	65	71
	Náklady samovýroba	Kč	2164	2240	4385	5537	7697	8850	0029
	Náklady na nákup paliva	Kč	Nezjištěno						
KKD SM	Skladovací prostor	m ³	10	14	23	32	42	51	56
	Náklady samovýroba	Kč	1129	2188	3302	4421	5546	6666	7728
	Nákup paliva	Kč	4704	6872	11023	15358	19924	24306	26566
Dřevní pelety	Hmotnost paliva	kg	1652	2414	3872	5395	6998	8537	9331
	Skladovací prostor	m ³	2	3	6	8	10	12	13
Dřevní pelety d08	Skladovací prostor	m ³	3	3	6	8	11	13	14
	Náklady na palivo	Kč	9088	13276	21295	29670	38491	46956	51326
Agropelety	Hmotnost	kg	1937	2829	4538	6323	8202	10006	10937
	Skladovací prostor	m ³	3	4	7	10	13	15	17
	Náklady na palivo	Kč	6778	9902	15883	22129	28708	35022	38278

Doplňující informace k tab. 13		
Plocha RD	m ²	150
Výhřevnost KKD	kWh	3,95
Výhřevnost Dřevní pelety	kWh	5
Výhřevnost agropelety	kWh	4,30
Sypná hmotnost KKD TP	Kg.m ⁻³	167
Sypná hmotnost KKD SM	Kg.m ⁻³	213
Sypná hmotnost dřevní pelety	Kg.m ⁻³	650
Sypná hmotnost pelety d08	Kg.m ⁻³	625
Sypná hmotnost agropelety	Kg.m ⁻³	600
účinnost kotle V 210 Extra	%	91
účinnost kotle A251	%	92
Denní výkon drtiče	m ⁻³	8
Spotřeba drtiče TP	l.m ⁻³	0,42
Spotřeba drtiče SM	l.m ⁻³	0,32
Natural 95	Kč.l ⁻³	31

Tabulka 13 popisuje přibližné hodnoty nároků na vytápění pro rodinný dům o tepelné ztrátě do 30 kW. Rozdíl nákladů na samovýrobu a nákup hotových špalíků je dán nezapočítáním ceny vlastní práce, dopravy. Velikost skladu KKD topolu je větší než smrku o 25 %, z důvodu jeho menší sypné hmotnosti resp. hustoty dřeva.

Vytápění dřevěnými peletami je dvakrát cenově náročnější než KKD, u agropelet je cenový rozdíl o 50 % proti KKD. Relativně nízká cena na vytápění je vykoupena vyššími nároky na zpracování materiálu a na pravidelnější doplňování paliva do kotle. V případě nákupu KKD dojde k navýšení cenové náročnosti vytápění, tato však je i poté nižší než u pelet. Výhodou vytápění peletami je možnost automatizace, která je vzhledem k různorodosti frakce u KKD prakticky vyloučena.

Testované smrkové pelety d08 oproti standardním smrkovým peletám vyžadují o cca 6 % větší sklad vzhledem ke svojí nižší sypné hmotnosti.

6. Diskuze

6.1. Výroba krátkého kusového dříví

Biopalivo v podobě krátkého kusového dříví bylo vyráběno na drtiči DH 10 Sp. Samotný stroj je koncipován pro běžného uživatele na úklid zahradního odpadu, ale i lesního klestu. Úprava podvozku byla zlepšujícím krokem z hlediska stability při přepravě po pozemích komunikacích na přívěsném vozíku, kterým je uskutečňován i přesun v terénu. Díky úspornému motoru Honda s 4,8 kW se zážehovým motorem, který je dostačující pro drcení do průměru 8 až 10 (12) cm, je spotřeba paliva na prostorový metr sypaný v závislosti na dřevině, průměru a vlhkosti materiálu, v rozmezí od 0,13 litrů do 0,52 litrů naturalu 95.

Nevýhodou zařízení je absence podávání suroviny a nekontinuální odběr drcených špalíků. Způsob pytlování do rašlových pytlů, se kterým je drtič standardně dodáván, je vhodný pro menší objemy výroby v řádu jednotek prostorových metrů. Při mnou prováděném testování bylo aplikováno několik způsobů odebírání drcených špalíků s ohledem na snížení pracnosti a počtu pracovníků. Po odstranění pytlovacího zařízení, ve kterém docházelo k pravidelnému ucpávání, a připevnění OSB desky jako výsypky, došlo k zrychlení práce. Špalíky odpadávaly přímo do přistaveného vozíku.

Krátké kusové dříví je efektivní a nenáročný způsob využití odpadních větví, u kterých obvykle dochází k pálení bez využití jejich energie. Sypná hmotnost špalíků se pohybuje okolo $200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ při 26 % vlhkosti, to je o $50 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ méně než u štěpky drcené diskovým, nebo bubnovým štěpkovačem. Tento rozdíl je dán velikostí frakce, tedy větším počtem vzduchových mezer.

6.1.1. Sklizeň topolové plantáže

Plantáže rychle rostoucích dřevin poskytují majitelům rodinných domů možnost samozásobení při využití hůře dostupných a málo úrodných pozemků. Po překonání období zakořenění jsou plantáže takřka bez údržby.

Šestileté topoly použité pro měření přírůstku, času potřebnému na sklizeň, a doby sušení dosahovaly výšky od 5 do 6 metrů a průměru kmene do 9 cm. Využití větší mechanizace je u drobně pěstitelů nerentabilní, z těchto důvodů je těžba prováděna svépomocí motorovou pilou s následným přiblížením ručně, příp. traktorem. Takto také probíhala sklizeň na pokusné plantáži.

Těžba ruční motorovou pilou se ukázala jako velice efektivní a nenáročná varianta. Čas potřebný na pokácení 120 kusů byl 7 minut. Přiblížení kmínků k drtiči dvěma pracovníky trvalo 48 minut. Tento úsek je nejvíce náročný na fyzickou zdatnost, mechanizační prostředek typu malotraktor/čtyřkolka s vyvážecím vlekem, nebo doprava k topolům s drtičem by tuto operaci výrazně zkrátily.

Drcení japonských topolů probíhalo s nastavením plné dávky přívodu paliva na drtiči z důvodu velkých průměrů a rychlého průchodu kmínků. Spotřeba paliva na 1 prms takto vyšla na 0,42 l.

6.1.2. Sušení krátkého kusového dříví

Velikost vzduchových mezer obvykle ovlivňuje rychlost proudění vzduchu. Z vlastního sledování průběhu sušení ve dvou boxech o objemu 1 m³, kdy jeden je ze všech stran větraný, druhý má plné dno a uprostřed instalován větrací komínek z pletiva o velikosti ok menší než kusy dřeva. Během dvouměsíčního sušení přirozeným způsobem pod přístřeškem docházelo ke snižování sypné hmotnosti klonu topolu (viz obr. 23). Relativní vlhkost v obou boxech na konci sledovaného období byla výrazně jiná. U boxu s větracím komínkem došlo k snížení vlhkosti na 18,9 % v celém objemu, box bez větracího komínku dosahoval průměrné vlhkosti 43,1 %, lokálně až 65%, tato vlhkost zapříčinila vznik plísní.

6.1.3. Sypná hmotnost krátkého kusového dříví

Stanovení sypné hmotnosti je důležitým aspektem z hlediska dimenzování skladů a využití maximální kapacity transportních prostředků. Spolu s výhřevností pak lze stanovit obsah energie na jednotku.

Při rychlém poklesu relativní vlhkosti u měřeného topolu došlo ke snížení sypné hmotnosti zhruba na polovinu původní hodnoty z 347 kg.m⁻³ na 167 kg.m⁻³ při 18,9 % vlhkosti. Hodnota u topolu jsou velice extrémní z hlediska jeho nízké hustoty, proto byly údaje doplněny hodnotou smrku s 213 kg.m⁻³ při 23 % vlhkosti a směsi složené z třešně, jabloně a švestky s 246 kg.m⁻³ při 43 % vlhkosti. Hustota dřeva a relativní vlhkost má významný vliv na sypnou hmotnost.

6.2. Dřevní pelety, agropelety

Biopaliva ve formě pelet jsou ušlechtilým zdrojem energie využívajícím odpadu, zemědělských komodit, a ostatního materiálu. Vytápěním v automatických kotlích přináší uživatelům komfort podobný vytápění zemním plynem. Aby bylo tohoto komfortu dosaženo, jsou na pelety kladeny relativně vysoké nároky, především z hlediska soudržnosti a hustoty pelet.

Dřevní materiál má vysoký obsah ligninu 12-35 %, který při lisování plastifikuje a tvoří tak pojivo. Horší mechanickou odolnost dosahují dřevní pelety s příměsí kůry. Pro dodržení kvality paliva je důležité vyrobit pelety s hustotou vyšší než 1000 kg.m^{-3} , sypnou hmotností vyšší jak 600 kg.m^{-3} a mechanickou odolností DU 97,5 %. Toho lze dosáhnout lisováním čistého dřevního materiálu, popřípadě zkušebními přidáváním rostlinných zbytků a pojiv. Mícháním různých druhů odpadů, popřípadě cíleně pěstované biomasy zlevňuje surovinovou základnu.

Dle výsledků pokusů Lehmann a kol. lze míchat borovicovou kůru s ozdobnicí až do poměru $0,2 \text{ kg.kg}^{-1}$ s mechanickou odolností 97,0 %, při přidání bramborového škrobu v dávce $0,02 \text{ kg.kg}^{-1}$ je odolnost zvýšena na 98,5 %. (*Lehmann, 2012*)

Zemědělské pelety vyráběné z obilné, řepné slámy, sena, cíleně pěstovaných plodin jako šťovík, ozdobnice, ovsík a další mají horší mechanické vlastnosti bez přidání pojiva. Obsah ligninu, jako přírodního pojiva, se u obilné slámy pohybuje v rozmezí 5 – 10 %. Další nežádoucí vlastností je spékání na roštu hořáku automatických kotlů, které vede ke zhoršení průběhu spalování následkem zamezení přívodu primárního vzduchu. Poslední fází je zastavení spalování a dodávka tepla. Problém spékání řeší posuvné rošty, které pravidelným pohybem narušují spečené kusy popela. Přidáním dřevěných pilin se snižuje spékavost popela a také zvyšuje mechanická odolnost. Agropelety lze lisovat při vlhkosti v rozmezí od 8 % do 20 %. Levnější vstupní materiál se projevuje na výsledné ceně paliva.

6.2.1. Sypná hmotnost (BD) pelet

Testované smrkové pelety o průměru 8,3 mm vykázaly průměrnou hodnotu 657 kg.m^{-3} , kterou je nutné přičíst většímu průměru. Parametry sypných hmotností pelet vyráběných ze dřeva jsou 600 až 700 kg.m^{-3} , u agropelet 550 až 650 kg.m^{-3} .

BD ovlivňuje, obdobně jako u KKD, vlhkost materiálu a velikost pelet.

6.2.2. Vlhkost pelet

Vlhkost neboli obsah vody je u paliv jedním z hlavních parametrů. Vyšší obsah vody snižuje účinnost kotlů o energii potřebou k jeho odpaření. U KKD je možné se dostat přirozeným sušením na cca 20 % vlhkosti. Hodnoty vlhkosti pelet jsou v rozmezí 8 % až 10 %, je to dáno působením tlaku a teploty, což zvyšuje odpar vody v lisovaném materiálu.

Měřené smrkové pelety d08 dosahují nadměrné vlhkosti 11,2 %, která se projevuje při následné zkoušce mechanické odolnosti vyšším odrolem. Vyšší vlhkost je pravděpodobně dána špatným skladováním ve vlhkém prostředí, nebo vysokou vlhkostí vstupního materiálu.

6.2.3. Hustota pelet

Měrná hustota pelet pomáhá kontrolovat kvalitu. Jednoduchým testem lze rozpoznat kvalitní peletu od nekvalitní. Test provádíme vhozením pelety do průhledné nádoby s vodou a sledováním procesu rozpouštění. Pokud dojde k pomalému klesání a rozpadu před dopadem na dno, jedná se o výrobek s hustotou okolo 1000 kg.m^{-3} . Oproti tomu pelety, které dopadnou na dno a poté se pomalu rozpadají, vykazují hustotu vyšší. U dřevních pelet jsou obvyklé hodnoty 1000 kg.m^{-3} až 1400 kg.m^{-3} , agropelety 900 kg.m^{-3} až 1200 kg.m^{-3} . Pelety SM d08 mají hodnotu 1045 kg.m^{-3} . Měrnou hustotu ovlivňuje velikost částic obvykle od 0,5 do 1,0 mm, vlhkost materiálu a lisovací tlak.

Mani a kol. sledovali závislost velikosti frakce na kvalitu pelet. Ječná sláma byla zpracována na laboratorním lisu při teplotě $100 \text{ }^\circ\text{C}$, drcením na mlýnu se sítý o rozměrech 0,8 mm, 1,6 mm a 3,2 mm. Velikost výsledné frakce byla 0,31 mm, 0,38 mm, a 0,69 mm. Byla potvrzena závislost pozitivní korelace mezi velikostí frakce a hustotou pelety. Vliv částic není tak výrazný oproti vlhkosti a lisovacímu tlaku. (Mani, 2006).

Výzkumy Serrano a kol. ukazují optimální hodnoty vlhkosti při lisování ječmenné slámy, potažmo rostlinných hmot, a to v rozmezí 9 % až 19 %, kdy výsledná peleta dosahuje vlhkosti 6 % až 8 %. Vstupní materiál by rozhodně neměl překonat 23 %, z důvodu snížení měrné hustoty výsledné pelety, zvýšení její vlhkosti na 15 % a problémech při spalování. (Serrano, 2011)

6.2.4. Mechanická odolnost

Mechanická odolnost je souhrnným ukazatelem vlastností pelety. Vlastní měření potvrzuje zvýšené odolnosti u dřevěných pelet, které při zvládnuté technologii lisování spadají do I. kategorie odolnosti dle EN s DU až 98 %. Slaměné pelety bez přídavku pojiva v podobě ligninu, škrobu, bílkoviny a dalších dosahují hodnot DU okolo 95 %, přidáním pojiva lze DU zvýšit až na 97 – 98 %.

V testu vyhověly pelety o průměru 6 mm a pelety průměru 8 mm. Dřevní pelety SM d08 v testu potvrdily špatnou kvalitu s DU 95 % danou vysokou vlhkostí a nízkou měrnou hustotou. Ostatní pelety odpovídají standardům.

6.2.5. Porovnání krátkého kusového dříví a pelet

Technologie spalování krátkého kusového dříví vyžaduje používání zplynovacího, popřípadě pyrolytického kotle, z důvodu rychlého prohoření/odhoření paliva v běžných kotlích. Náklady na palivo jsou odvislé od suroviny, jejíž zásoby vlivem odběru klestu pro výrobu třískových desek a energetické štěpky se stávají méně dostupnými.

Nejvlivnějším faktorem výroby KKD je fyzická zdatnost dělníků. Náklady na výrobu jednotky objemu jsou zanedbatelné s náklady na pracovní sílu a amortizaci stroje.

Automatické kotle na pelety umí zpříjemnit topnou sezónu minimálními nároky na obsluhu. Vysoká účinnost (od 85 %) zajišťuje maximální využití energie v palivu. Spékání popela je hlavním problémem při spalování agropellet. Z toho důvodu se testuje přidání různých dalších druhů rostlin a pojiv. Vyšší pořizovací cena automatického kotle se majiteli vrátí v podobě potřeby minimální obsluhy, vysoké účinnosti a úspore paliva. V případě zemědělské usedlosti s možností vlastní výroby pelet a prodeje přebytku paliva, je i investice do linky malých výkonů typu MG od firmy Kovo Novák Citonice s.r.o., zajímavou variantou.

7. Závěr:

Úvodní část práce popisuje problematiku vzniku, dopravy a zpracování zemědělské a lesní biomasy. Je zde popsán technologický proces výroby krátkého kusového dříví a pelet. Dalším tématem jsou vybrané parametry pelet a jejich zkoušení dle platné normy.

Kapitola 4 popisuje metodiku získávání dat ze sklizně plantáže, sušení klonu topolu, stanovení relativní vlhkosti a sypné hmotnosti KKD. Dále je zde popsán postup testování sypné hmotnosti, vlhkosti, měrné hustoty a mechanické odolnosti pelet.

V případě biopaliva v podobě krátkého kusového dříví bylo hlavním cílem testování spotřeby drtiče DH 10 Sp při různých podmínkách, stanovení sypné hmotnosti a způsobu sušení.

Spotřeba paliva drtiče se pohybuje dle druhu dřeviny, vlhkosti, od 0,13 do 0,52 litrů na m³.

Naměřená data ze sklizně části plantáže (500 m²) dávají informace pro plánování sklizně větších celků, jejich časové náročnosti a spotřeby pohonných hmot. Pokusné sušení KKD dokazuje rozdíly ve způsobu konstrukce boxů a času potřebného k vysušení vzorků přirozeným způsobem. Dalším krokem bylo stanovit sypnou hmotnost KKD (167 kg.m⁻³ pro topol a 213 kg.m⁻³ pro smrk) při cca 22 % relativní vlhkosti, což pomáhá stanovit kapacity skladů paliva.

Při testování pelet bylo zjištěno takřka nevyhovujících hodnot u smrkových vzorků d08 prakticky ve všech parametrech (vlhkost, měrná hustota, mechanická odolnost). Ostatní vzorky odpovídají parametrům dle ČSN EN 14961-2.

Závěrem je porovnání vytápění krátkým kusovým dřívím a peletami v rodinných domech do výkonu kotle 30 kW. Dle získaných informací, rozdílu technologií kotlů, cenovým rozdílem kotlů a paliv záleží na schopnosti/ochotnosti obsluhovat pyrolytický/automatický kotel. Z hlediska ceny paliv a částečně i technologie je výhodnější vytápění KKD, nevýhodou je vyšší náročnost na přípravu paliva a obsluhu kotle.

Summary

The introductory part describes the problems of formation, transport and processing of agricultural and forest biomass. There is described technological process of producing short piece of wood and pellets. Another topic is selected parameters pellets and their testing according to applicable standards.

Chapter 4 describes the methodology of data collection from harvest plantations, drying poplar clones, determine relative humidity and bulk density KKD. Further disclosed herein is a procedure of testing of bulk density, moisture content, specific gravity and mechanical strength pellets. In the case of biofuel in the form of a short piece of wood, the main objective testing consumption crusher DH 10 Sp in different conditions, the determination of the bulk density and the drying process.

Fuel consumption varies according crusher species, moisture of from 0.13 to 0.52 liters per m³. Measured data from the harvest of the plantation (500 m²) provide information for planning the harvest of larger groups, their consumption of time and fuel consumption. Experimental drying KKD demonstrates differences in the manner of boxes and the time needed to dry the samples in a natural way. The next step was to determine the bulk density KKD (167 kgm⁻³ for poplar and 213 kgm⁻³ spruce) at about 22% relative humidity, which helps determine the capacity of the fuel depots.

When testing pellets was found almost non-conforming values for d08 spruce samples in virtually all parameters (humidity, specific density, mechanical resistance). Other samples correspond to the parameters according to EN 14961-2.

Finally, a comparison of short lumpy heating firewood and pellets in houses in the boiler output of 30 kW. According to information obtained, the difference boiler technologies, price differences boilers and fuel depends on the ability / cheerfulness operate the pyrolysis / automatic boiler. In terms of fuel prices and partly technology it is preferable heating KKD disadvantage is the higher demands for fuel preparation and operation of the boiler.

Seznam použité literatury:

AMOS, W. A. *Report on Biomass Drying Technology*. Colorado, 1998. 35 s. National Renewable Energy Laboratory.

ČIHAŘ, J. 1978. *Příroda v ČSSR*. Praha: Práce, 386 s.

Doporučená pravidla pro měření a třídění dříví v ČR 2008: platnost od 1.1.2008. 2007. 2., aktualiz. vyd. Praha [i.e. Kostelec nad Černými lesy]: Lesnická práce, 147 s. ISBN 978-80-87154-01-4.

GAUR, S., REED, T.B. 1995. *An Atlas of thermal Data For Biomass and Other Fuels*. National Renewable Energy Laboratory.

KLEPÁRNÍK, J. 2013. *Příprava, vlastnosti a využití tuhých biopaliv - vybrané aspekty*. Brno. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně.

KLEPÁRNÍK, J., 2009. *Peltest – přístroj pro zjišťování mechanické odolnosti pelet*. Funkční vzorek. Mendlova univerzita v Brně.

KLEPÁRNÍK, J., Veverka, J., 2008. *Podvozek drtiče DH10*. Funkční vzorek. Mendlova univerzita v Brně.

KOLEKTIV AUTORŮ. *Energetické plodiny*. Praha: Profi Press, 2006, 127 s. ISBN 80-86726-13-4.

KRAVKA, M. KOLEKTIV AUTORŮ. *Plantáže dřevin*. Praha: Grada, 2012, 104 s. ISBN 978-80-247-3925-0.

LEHMANN, B. 2011. Effect of miscanthus addition and different grinding processes on the quality of wood pellets. *Biomass and Bioenergi*. (44): 150 - 159.

LYČKA, Z. 2011. *Dřevní peleta, aneb, Peleta mýtů zbavená*. 1. vyd. Krnov: LING Vydavatelství, 66 s. ISBN 978-80-904914-0-3.

MANI, S., TABIL, L.G., SOKHANSANJ, S., Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses, *Biomass Bioenergi*. 30 (2006) 648–654.

PASTOREK, Z., J. KÁRA a P. JEVIČ. *Biomasa obnovitelný zdroj energie*. Praha: FFC PUBLIC s.r.o., 2004, 288 s. ISBN 80-86534-06-5.

SERRANO, C. 2011. Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets. *Fuel Processing Technology*. (92): 699-706.

SIMANOV, V. *Dříví jako energetická surovina*. Praha: Obchodní tiskárny Hořovice, 1993, 116 s.

8. Přehled použitých internetových zdrojů

BALÁŠ, M. a J. MOSKALÍK. Měření vlhkosti paliv. *Biom.cz* [online]. 2011 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mereni-vlhkosti-paliv>

CELJAK, Ivo: Náklady na produkci štěpky z rychle rostoucích topolů. *Biom.cz* [online]. 2012-07-09 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/naklady-na-produkci-stepky-z-rychle-rostoucich-topolu>. ISSN: 1801-2655

Energetická náročnost budov. *Tretiruka* [online]. 2013 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z : <http://www.tretiruka.cz/seznamy/energeticka-narocnost-budov/>

Honda GX 160. 2015. *Honda* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.hondastroje.cz/motory/motory-s-horizontalni-hrideli/profi-rada-gx/gx-160>

Kotle - Verner [online]. 2015. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.kotle-verner.cz/>

KOTT, Jiří: Výroba pelet z biomasy - technické a ekonomické aspekty. *Biom.cz* [online]. 2010-12-20 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz-pelety-a-brikety/odborne-clanky/vyroba-pelet-z-biomasy-technicke-a-ekonomicke-aspekty>. ISSN: 1801-2655

MLB-N Analyzátor vlhkosti. *Váhy-KERN* [online]. [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://vahy-kern.cz/produkty/kern-laboratorni-vahy/vlhkostni-analyzatory/mlb-n-analyzator-vlhkosti/>

O dřevině. *Petr Šouta RRD Japonský Topol* [online]. 2011 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.rrd-japonskytopol.cz/odrevine.html>

PŘÍHODA, J, 2008: Technologie pro zpracování dendromasy - těžebních zbytků. *Biom.cz* [online]. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/technologie-pro-zpracovani-dendromasy-tezebnych-zbytku>

- SIMANOV, V. 2013. Jednoduché a ekonomické sušení štěpek. *Dřevařský magazín* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://www.drevmag.com/images/stories/tisk/technologie/2013/DM_12-2013_Technologie_Suseni_stepek.pdf
- STUPAVSKÝ, V. 2010. Kotel na pelety - peletový kotel pro ústřední vytápění. *Biom.cz* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kotel-na-pelety-peletovy-kotel-pro-ustredni-vytapeni>
- Tepelná technika Rojek* [online]. 2015. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://rojek.cz/rojek.asp?jazyk=cz>
- VAVRČÍK, H., GRÝC, V. 2002, Anatomická stavba dřeva. *Ldf.mendelu.cz* [online]. [cit.: 17-04-2015]. Dostupné z: http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/lexikon/index.htm
- WEGER, J., HAVLÍČKOVÁ, K. 2002: Zásady a pravidla pěstování rychle rostoucích dřevin (r.r.d.) ve velmi krátkém obmýtí. *Biom.cz* [online]. 2002-01-18 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zasady-a-pravidla-pestovani-rychle-rostoucich-drevin-r-r-d-ve-velmi-kratkem-obmyti>. ISSN: 1801-2655.