

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

KATEDRA TECHNOLOGICKÝCH ZAŘÍZENÍ A STAVEB

NÁVRH TECHNOLOGICKÉ LINKY NA VÝROBU PELET Z  
BIOMASY

## DIPLOMOVÁ PRÁCE



**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jan Malat'ák Ph.D.

**Vypracoval:** Bc. Ondřej Holub

**PRAHA 2016**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Ondřej Holub

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

**Návrh technologické linky na výrobu pelet z biomasy**

Název anglicky

**Proposal for a technological line for production pellets from biomass**

---

### Cíle práce

Cíle diplomové práce vycházejí z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců tuhé biomasy pro energetické účely a charakteristiky souvisejících právních předpisů, technologie, techniky a legislativních podmínek využití odpadní biomasy.

Cílem diplomové práce je navrhnout technologickou linku na výrobu pelet z biomasy. Posoudit návrh s ohledem na fyzikálně-chemické vlastnosti použitého vzorku biomasy s technicko-ekonomickým posouzením.

1. Charakteristika biomasy a technologie výroby lisovaných paliv
2. Návrh technologické linky na výrobu pelet z biomasy
3. Výběr sledovaných parametrů navrhovaného zařízení
4. Ekonomické posouzení návrhu

### Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Přehled poznatků z literatury
4. Výchozí podmínky řešení
5. Návrh řešení a dosažené výsledky
6. Diskuse a závěry
7. Seznam literatury
8. Přílohy

**Doporučený rozsah práce**

60

**Klíčová slova**

Biomasa, pelety, granulační linka, výhřevnost

**Doporučené zdroje informací**

ČSN 14961-1: Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv – Část 1: Obecné požadavky. ÚNMZ, červen 2010, str. 54

Malaťák, J.; Vaculík, P.: Biomasa pro výrobu energie. ČZU v Praze, Technická fakulta, tisk. Powerprint, Praha 2008, 206 s., ISBN: 978-80-213-1810-6

Obroučka, K.: Termické zneškodňování odpadů. VŠB Ostrava, Ostrava 1997, 140 s.

Pastorek, Z.; Kára, J.; Jevič, P.: Biomasa – obnovitelný zdroj energie, nakladatelství FCC Public, Praha 2004, 284 str., ISBN 80-86534-06-5

Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2009/28/EC o podpoře užívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES. Štrasburk, 23.4.2009 (OR. en)

Trnobranský, K.: Energetické využití dřevních odpadů spalováním a zplyňováním. Topenářství a instalace, 1996, č. 2, 51 s.

**Předběžný termín obhajoby**

2015/16 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra technologických zařízení staveb

---

**Elektronicky schváleno dne 20. 1. 2015****doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

**Elektronicky schváleno dne 27. 4. 2015****prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2016

**Prohlášení:** „Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Návrh technologické linky na výrobu pelet z biomasy 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.“

.....  
Podpis autora

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl velmi rád poděkovat doc. Ing. Janu Malatřákovi, Ph.D. – jakož to vedoucímu této práce za cenné rady a připomínky spojené s vypracováním této diplomové práce.

**Abstrakt:** Cílem této diplomové práce je, jak již z názvu vyplývá, ukázat návrh pro technologickou linku (od prvotního příjmu základní suroviny až po hotový produkt) na výrobu pelet z biomasy. V práci jsou uvedeny pro bližší pochopení charakteristiky jednotlivých druhů biomasy a jejich nejčastější využití v běžném životě se zaměřením na konkrétní druhy pelet (normy, certifikáty, ochranné známky- jak české tak zahraniční). Dále seznámit se s problematikou klasifikačních, jakostních a specifičních rámců tuhé biomasy pro energetické účely a charakteristikami souvisejících s právními předpisy, technologiemi, technikami a legislativními podmínkami využití odpadní biomasy. Porovnat jednotlivé druhy vzorků pelet z nejdůležitějších hledisek (obsahy látek, popela, výhřevnost atd.) a také v jakých cenových relacích se na našem trhu objevují. Následně na tomto základě provést zhodnocení technické i ekonomické stránky navrhovaného řešení a zároveň popsat nejvýznamnější fyzikálně – chemické vlastností biomasy.

**Klíčová slova:** biomasa, pelety, granulační linka, výhřevnost

## **Proposal for a technological line for production pellets from biomass**

**Summary:** The aim of this thesis is to introduce the proposal of the technological line (from the initial intake of the essential raw material to the final product) for the production of pellets from biomass. For better understanding, this work presents the characteristics of various types of biomass and its most common use in everyday life with the focus on specific kinds of pellets (standards, certificates, protective marks – both Czech and foreign). Further it informs about the issue of classification, quality frameworks and specification of solid biomass for energy purposes and characteristics associated with the legislation, technologies, techniques and legislative conditions of use of waste biomass. It also compares the different types of pellet samples in the relation to the most important aspects (contents of substances, ash, calorific value etc.) and in what price range they appear in our market. Subsequently, on this basis, the assessment of the technical and economic aspects of the proposed solutions is carried out and the major physical - chemical features of biomass are described.

**Keywords:** biomass, pellets, granulation line, calorific value

## Obsah:

<b>1. Úvod</b>	1
<b>2. Cíl práce a metodika</b>	2
2.1 Cíl práce	2
2.2 Metodika práce	2
<b>3. Přehled poznatků z literatury</b>	3
3.1 Charakteristika biomasy obecně	3
3.1.1 Tuhá biomasa	3
3.1.2 Kapalná biopaliva	7
3.1.3 Plynná biopaliva	8
3.1.4 Potenciál biomasy	9
3.2 Legislativa	10
3.2.1 Zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb.	10
3.2.2 Nařízení vlády č.146/2007 Sb.	12
3.2.3 Vyhláška č. 13/2009 Sb.	14
3.2.4 Směrnice č. 55 – 2010 MŽP ČR	14
3.2.5 Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012–2020	15
3.3 Pelety z biomasy	15
3.3.1 Druhy pelet	16
3.3.2 Kvalita pelet v ČR, Evropě	17
3.3.3 Technologická zařízení na spalování pelet	18
3.3.4 Použití pelet	20
3.3.5 Základní technické parametry + obecná doporučení	20
3.3.6 Technologie výroby dřevních pelet	21
<b>4. Návrh řešení a dosažené výsledky</b>	24
4.1 Údaje od výrobců a prodejců	24
4.2 Metodika prvkových rozborů	30
4.2.1 Materiály a chemikálie	30
4.2.2 Analýzy a výpočty	30
4.3 Metodika stechiometrie spalovacích procesů	31
4.3.1 Výpočty spotřeby vzduchu a množství spalin	32
4.3.2 Spalování tuhých paliv	33
4.3.3 Výsledné hodnoty vybraných tuhých vzorků biopaliv	38
4.3.4 Vyhodnocení prvkové a stechiometrické analýzy vybrané biomasy	46
4.4 Výběrové řízení peletovacího lisu	52
4.4.1 Technické aspekty využití peletovacího lisu	53
4.4.2 Vyhodnocení výběrového řízení	53

4.5 Ekonomické hodnocení efektivnosti investice	54
4.5.1 Vstupní parametry ekonomických ukazatelů	55
4.5.2 Provozní výnosy	55
4.5.3 Provozní náklady	56
4.5.4 Ekonomická a investiční analýza	57
<b>5. Diskuse a závěry:</b>	61
<b>6. Seznam použité literatury:</b>	62



# 1. Úvod

Problematika ochrany životního prostředí z hlediska vytápění je stále jedním z nejdiskutovanějších témat, ať už u nás v ČR nebo ve světě vůbec. Výběr prostředků k zateplení domácností je v současné době poměrně bohatý, ať už máme na mysli klasické a léty prověřené varianty (dřevo, uhlí) anebo dáme přednost modernější, neustále se rozvíjející a především ekologičtější variantě v podobě obnovitelných zdrojů.

Každá varianta vytápění má své specifické přednosti ale stejně tak nedostatky. Ještě pořád je nejvíce rozšířené vytápění fosilními palivy v podobě černého nebo hnědého uhlí. Z hlediska environmentálního je však bezpodmínečně nutné tento druh vytápění omezit a nahradit méně emisními palivy. Jedním z řešení tohoto problému je využívání biomasy jako obnovitelného zdroje energie nezatěžující natolik životní prostředí jako fosilní paliva a přesně tím jsou pelety.

Už i zde na našem trhu se setkáme s širokým výběrem pelet od certifikovaných až po pelety pro průmyslové využití lišící se především kvalitou a cenou. Přirozeně i pelety mají mnoho zarytých příznivců a odpůrců. Nejčastějším argumentem odpůrců je tvrzení, že výroba a distribuce pelet je energeticky příliš náročná, což degraduje ekonomiku i ekologičnost používání tohoto moderního pevného biopaliva a proto je i jedním z cílů této práce odpovědět, kdo je pravdě blíže.

## **2. Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem rešeršní části diplomové práce je seznámení s problematikou výroby pelet. Jelikož je vstupním materiálem na výrobu pelet biomasa, je tento důležitý pojem detailně vysvětlen a popsán. Její původ, výhody a nevýhody zpracování, konzistence plus celková úprava. Dále určení nejdůležitějších vlastností pelet, které se prodávají u nás v ČR ale i v zahraničí, znaky kvality pelet, bez kterých nemohou být prodávány. Pro posouzení energetického využití tuhých biopaliv je potřeba vymezit klasifikační, jakostní a specifikační rámce. Nesmí být proto opomenuty související legislativní podmínky (zákony a směrnice MŽP) a to zejména v oblasti emisních limitů a kvality paliv z hlediska ochrany ovzduší a životního prostředí celkově. Přirozeně musí být zmíněn také přehled technologických zařízení, která pelety přeměňují na výslednou tepelnou energii a v neposlední řadě již zmiňovaný konkrétní výrobní postup pelet. Základní vlastnosti pelet jsou výchozím bodem pro praktickou část této diplomové práce. Cílem práce je navrhnout a porovnat z technickoekonomického hlediska 2 druhy lisů na dřevní a rostlinné pelety.

### **2.2 Metodika práce**

Prvním bodem praktické části práce jsou informace od výrobců a prodejců vybraných vzorků pelet, po nichž následuje provedení prvkové analýzy a stechiometrických výpočtů porovnávaných vzorků tuhých biopaliv. Vybranými vzorky jsou dřevní a rostlinné pelety různých jakostí. Cílem je zjištění palivářských vlastností vzorků a jejich vzájemné porovnání. Na základě zjištěných parametrů provedeme vyhodnocení prvkové a stechiometrické analýzy vybrané biomasy. Dále je cílem posouzení vzorků, zda vyhovují emisním limitům a požadavkům na kvalitu paliv z hlediska legislativy.

Druhým bodem praktické části je ověřit vlastnosti vybraných vzorků provedením tepelně-emisní analýzy a následně tepelně-emisní vlastnosti vzorků vyhodnotit.

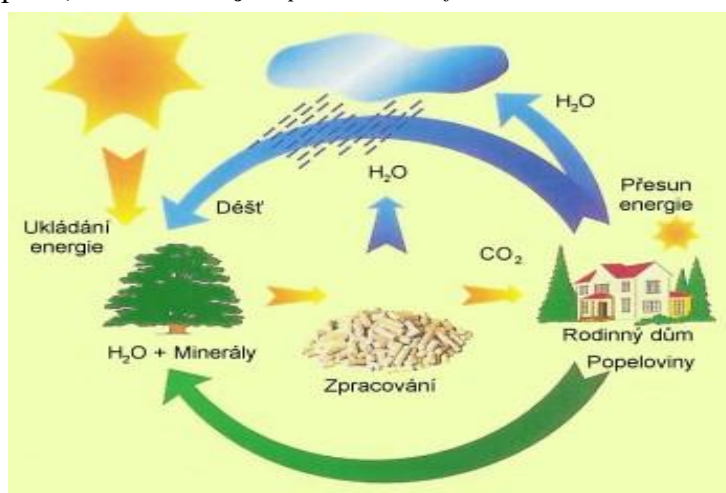
Třetím cílem praktické části práce je provést výběrové řízení mezi dvěma lisy a zjistit ekonomickou návratnost původní investice do obou technologií.

### 3. Přehled poznatků z literatury

#### 3.1 Charakteristika biomasy obecně

Biomasa představuje výsledek fotosyntetické přeměny solární energie a oxidu uhličitého do chemických a fyzikálních složek rostlinného materiálu (viz obr. 1). Tyto složky se následně stanou mechanismem uchování energie a umožňují naakumulovanou solární energii uvolnit prostřednictvím rostlinných a živočišných ekosystémů, lidí a průmyslových systémů. Užitečná práce konaná při změně biomasy na bioenergií pochází rovněž ze sluneční energie a to platí bez ohledu na to, zda biomasa vyrostla v uplynulém období 500 milionů let anebo zda se jedná o nově vyrostlý rostlinný materiál. Biomasa je jediný zdroj spalitelného uhlíku, který je z hlediska emisí uhlíku neutrální. Přeměna (konverze) biomasy na bioenergií probíhá jako součást přírodního koloběhu uhlíku, a proto tato konverze nepřispívá ke změně klimatu a k problému oteplování v důsledku skleníkových plynů. Analýza prokázala, že potenciál oteplování skleníkových plynů uvolněných při spalování biomasy je nižší, než při spalování všech druhů fosilních paliv, **Zdroj:** <http://www.tzb-info.cz>

včetně zemního plynu, a to dokonce i při zachycování uhlíku. Analýza dále prokázala, že s jedinou výjimkou emisí oxidu uhelnatého vzniká při spalování biomasy podstatně méně emisí než při spalování uhlí. (Havlíčková a kol. 2008. Murtinger, Beranovský, 2008)



Obr. 1: Co je biomasa?

#### Druhy biomasy

Biomasu neboli biopaliva můžeme rozdělit z hlediska skupenství na *tuhá*, *kapalná* a *plynná* biopaliva.

##### 3.1.1 Tuhá biomasa

Tuhá biomasa je nejjednodušší, nejnámější a nejméně investičně náročný způsob využívání ze všech 3 uvedených forem. Má přitom největší význam pro venkovské regiony i pro účelnou diversifikaci (rozdůžňování) energetických zdrojů i z hlediska energetické bezpečnosti. Dle normy ČSN 17225-1 zahrnuje organicky nefosilní materiál biologického původu, který může být používán jako palivo pro výrobu tepla a elektrické energie. Vytápění biomasou má rovněž rozhodující význam i z hlediska energetické bezpečnosti, neboť není výhradně závislé na centrálním dodávání tepelné energie. Nejčastěji se používá v lokálních topeništích, nebo malých výtopnách. Největší význam spočívá rovněž v tom, že se tato biopaliva spotřebují v místě svého vzniku – ať už jako vedlejší či odpadní produkt (sláma,

dřevní odpad), tak jako produkt cíleně pěstovaných energetických rostlin. Tím se současně omezí zbytečné převážení biomasy na velké vzdálenosti a ušetří se pohonné hmoty (odhadovaná domácí dodávka biomasy v letech 2015 a 2020 je znázorněna v tab. 1). Tento způsob využívání biomasy vyvrací proto i některé obecné námitky odpůrců biomasy, kdy se kritizuje právě náročnost transportu nebo i pěstování energetických rostlin údajně na velkých plochách a v monokulturách. To se rozhodně netýká tuhé biomasy pro vytápění, ale problémy mohou nastat hlavně při produkci biomasy za účelem získávání pohonných hmot.

Vytápění biomasou je rovněž nejsnáze realizovatelný způsob jejího využívání, protože každý z nás dobře zná topení dřevem, neboť i dřevo je biomasa. Bohužel, v poslední době se stává nedostatkové, jednak proto, že je ho škoda pro spalování a jednak proto, že mnozí občané jsou nuceni v důsledku stálého zdražování paliv pro vytápění hledat zdroje nejlevnější. Tím zatím dřevo je, ale je pouze otázkou času, kdy tento zdroj dojde. Proto je třeba hledat náhradní možnosti a zajistit tak dostatek biomasy jako nejvýznamnějšího obnovitelného zdroje energie, které je dosud evidentní nedostatek. Logicky se nabízí cílené pěstování energetických rostlin na zemědělské půdě. Pro rozptýlené pěstování těchto vybraných „energetických“ rostlin se najdou nejrůznější enklávy odlišného stupně úrodnosti půdy po celé republice. K pěstování energetických rostlin pro pevnou biomasu nejsou totiž nezbytné ucelené rozsáhlé plochy půdy, čímž bohužel někteří odpůrci biomasy obecně argumentují. To se ale týká hlavně plodin pro biopaliva tekutá. Cílené pěstování rostlin pro vytápění lze realizovat i na malých pozemcích vhodně začleněných do krajiny. Může se tak využít i méně úrodná půda, která často neskýtá ani žádoucí výnosy tradičních zemědělských plodin. Takže i když výnosy energetických rostlin zde rovněž nebudou dostatečně vysoké, lze je přesto považovat za přínosné, jak pro získání biomasy, tak pro řádné obdělání půdy. Týká se to tedy především oblastí méně úrodných. V konkrétních případech se ale nevylučují ani půdy úrodné v nížinných oblastech, záleží výhradně na místní potřebě produkce topné biomasy. (ČEZ, 2007. ÚNMZ, 2015)

Tuhá biopaliva se popisují podle původu, zdroje a hlavních obchodovatelných forem a vlastností. V hierarchickém klasifikačním systému jsou podle původu tyto hlavní skupiny tuhých biopaliv:

- dřevní biomasa
- bylinná biomasa
- ovocná biomasa
- směsi a příměsi

*Dřevní biomasa* je biomasa ze stromů, keřů a křovin.

*Bylinná biomasa* je z rostlin, které nemají dřevitý stonek a které odumírají na konci vegetační doby. Sem patří zrniny a jejich vedlejší produkty jako jsou obiloviny.

*Ovocná biomasa* je biomasa z částí rostlin, které nesou semena.

Pro *směsi a příměsi* platí, že směsi jsou záměrně smíchaná biopaliva, zatímco příměsi jsou nezáměrně smíchaná biopaliva. (Jevič a kol. 2008)

## ❖ Dřevní biomasa

### Lesní a plantážové dřevo

Lesní a plantážové dřevo v této kategorii může pouze být upraveno snížením velikosti částic, odkorněním, vysušením nebo zvlhčením. Lesní a plantážové dřevo zahrnuje dřevo z lesů, parků a plantáží a rychle rostoucí stromy.

### Dřevozpracující průmysl, vedlejší produkty a zbytky

V této skupině jsou klasifikovány dřevní vedlejší produkty a dřevní zbytky z dřevozpracujícího průmyslu (viz obr. 2). Těmito biopalivy mohou být chemicky neošetřené dřevní zbytky (zbytky z odkornění, řezání klád nebo snižování velikosti, tvarování stromů, lisování) nebo chemicky ošetřené dřevní zbytky, pokud neobsahují těžké kovy nebo halogenované organické sloučeniny, jež jsou výsledkem ošetření konzervačními prostředky na dřevo nebo nátěrů.

**Zdroj:** <http://www.nazeleno.cz>



**Obr. 2:** Biomasa ve formě dřevní štěpky

### Použité dřevo

Tato skupina zahrnuje dřevní odpad od zákazníků a společností. S ohledem na ošetření se používají stejná kritéria jako pro dřevozpracující průmysl vedlejších produktů a zbytků, tj. použité dřevo nesmí obsahovat těžké kovy nebo halogenované organické sloučeniny, jež jsou výsledkem ošetření konzervačními prostředky na dřevo nebo nátěrů. (Brown, 2009)

### Směsi a příměsi

Zahrnuje směsi a příměsi dřevní biomasy. Míchání může být buď úmyslné (směsi) nebo neúmyslné (příměsi).

## ❖ Bylinná biomasa

### Zemědělská a zahradní bylina

Materiál, který přichází přímo z pole, třeba po skladování a může být upraven pouze snížením velikosti částic. Je zde zahrnuto i sušení. Pokrývá bylinný materiál ze zemědělských a zahradních polí a ze zahrad a parků.

### Průmysl zpracovávající byliny, vedlejší produkty a zbytky

Zahrnuje bylinný materiál biomasy, který zůstal po průmyslové manipulaci a ošetření. Příkladem jsou zbytky z výroby cukru z cukrové řepy a zbytky z ječného sladu z výroby piva. (ČSN EN ISO 17 225-1)

## Směsi a příměsi

Zahrnuje směsi a příměsi z bylinné biomasy. Míchání může být buď úmyslné (směsi) nebo neúmyslné (příměsi).

### ❖ **Ovocná biomasa**

#### Sadové a zahradní ovoce

V této třídě je klasifikováno ovoce ze stromů a křovin a také plody z bylin (např. ovocná výsadba a révy).

#### Průmysl zpracovávající ovoce, vedlejší produkty a zbytky

Zahrnuje materiál ovocné biomasy, který zůstane po průmyslové manipulaci a ošetření. Příkladem jsou šroty z extrakce olejnin, pokrutiny, výlisky.

## Směsi a příměsi

Zahrnuje směsi a příměsi z různých biomas. Míchání může být úmyslné (směsi) nebo neúmyslné (příměsi). (Udržitelná výroba a řízení jakosti tuhých paliv na bázi agrárních bioproduktů). Celková odhadovaná dodávka biomasy do domácností je znázorněna v tabulce 6. (Jevič a kol. 2008)

**Tab. 1:** *Odhadovaná domácí dodávka biomasy v letech 2015 a 2020*

Odvětví původu		2015		2020	
		Očekávané množství domácích zdrojů (tis. tun)	Výroba primární energie (ktoe)	Očekávané množství domácích zdrojů (tis. tun)	Výroba primární energie (ktoe)
<b>A) Biomasa z lesnictví</b>	1) přímá dodávka dřevěné biomasy z lesů, zalesněné půdy pro výrobu energie	4030	1274	4330	1383
	2) nepřímá dodávka dřevěné biomasy pro výrobu energie	3138	675	3208	690
<b>B) Biomasa ze zemědělství a rybolovu</b>	1) zemědělské plodiny a produkty rybolovu přímo dodané pro výrobu energie	7244	875	9426	1176
	2) vedlejší zemědělské produkty / zpracovaná rezidua a vedlejší produkty rybolovu pro výrobu energie	262	88	306	102
<b>C) Biomasa z odpadu</b>	1) biologicky rozložitelné složky tuhého komunálního odpadu včetně biologického odpadu	2018	125	2363	248
	2) biologicky rozložitelné složky průmyslového odpadu (včetně papíru, lepenky, palet)	73	32	73	32
	3) kaly z čistíren odpadních vod	2601	42	2601	42

**Zdroj:** *Analýza potenciálu biomasy v České republice (2010)*

### 3.1.2 Kapalná biopaliva

Kapalná biopaliva jsou paliva, která se v podmínkách, při nichž jsou skladována, dopravována a připravována pro energetické využití, nachází v kapalném stavu. Mezi kapalná biopaliva jsou řazena zejména následující biopaliva:

#### ❖ Alkoholová biopaliva:

Bioethanol je ethanol vyráběný z rostlin obsahujících větší množství škrobu a sacharidů, nejčastěji z kukuřice, obilí, brambor, cukrové třtiny a cukrové řepy. Široké uplatnění má jako automobilové palivo zejména v Brazílii.

Biomethanol je methanol vyrobený z biomasy. Jeho produkce je zatím neekonomická a methanol je silně jedovatý.

Butanol lze vyrobit složitou fermentací biomasy. Může být použit přímo v existujících benzínových motorech a je méně korozivní než ethanol, ale je také jedovatý.

Biooleje mohou být použity v naftových motorech:

- rostlinný olej
- použitý např. fritovací olej
- bionafta získávána transesterifikací rostlinných olejů a živočišných tuků

#### ❖ Zkapalněná plynná biopaliva:

Bioplyn a dřevoplyn lze pomocí Fischer-Tropschovy syntézy přeměnit na kapalné uhlovodíky. Oproti bioethanolu a bionaftě, při jejichž výrobě se využívají pouze určité části rostlin, lze k výrobě dřevoplynu použít celou plodinu, což zvyšuje energetický výnos. Navíc je jedno, z jakých rostlin zdrojová biomasa pochází, takže není nutné pěstovat monokultury jediné plodiny.

#### ❖ Odpadní produkty:

Termální depolymerizace (přeměna komplexních organických materiálů na lehkou ropu) poskytuje metan a ropě podobné uhlovodíky z různých odpadů.

Problémy velkoplošného pěstování mohou nastat při pěstování rostlin pro bio pohonné hmoty, jako je biolih či bionafta. Dalším zásadním problémem pro produkci těchto biopaliv je nezbytnost zpracování surovin v centrálních zpracovatelských zařízeních, což si vyžádá nezbytná fosilní paliva na jejich transport. Celková bilance takto vzniklých biopaliv je pak o tuto energii nutně snížena.

Biopaliva pro dopravu přitom bohužel přispívají nejméně k omezování skleníkových plynů, zvláště v ČR i v Evropě. Zdejší mírné podnebí může produkovat pohonná biopaliva převážně z obilovin (případně z okopanin). Pěstování obilovin je u nás tradičně na velmi vysoké úrovni a proto zaujímají největší osevnické plochy orné půdy, stejně jako řepka pro výrobu bionafty. Rozsáhlé plochy obilovin jsou nevhodné i z hlediska biodiverzifikace druhů. Zde by mohlo výrazně přispět rozšíření pěstování jiných druhů energetických bylin (např. pro biomasu k vytápění), vhodně začleňovaných do krajiny, které mají oproti obilovinám odlišnou charakteristiku a proto zde mohou působit jako zlepšovače půdní úrodnosti.

Výrobu biolihu je třeba rovněž zvážit vzhledem k vysokým investičním nákladům. Taková výroba musí být podrobena velmi důkladným ekonomickým propočtům a současně musí být předem zajištěno spolehlivé dodávání surovin. V poslední době se dále začíná projevovat i konkurence oproti potravinářskému obilí. Jde přitom o konkurenci přímou: buď se obilí použije pro biopaliva, nebo pro potraviny. To je střet vážný a každopádně by na něj měl být brán zřetel, zejména z hlediska posledního vývoje v Evropě i v celém světě. Začíná se to projevovat nakonec i některými stanovisky EU z poslední doby, kde již není tak kategoricky doporučováno prosazování zvýšeného podílu (do 10 %) přimíchávání biolihu do benzínu.

Obecně nelze ale výrobu biolihu považovat za nevhodnou, ale naopak, je velmi potřebná a může být dokonce velice efektivní, ale převážně v oblastech s vhodnými přirozenými podmínkami. Názorným příkladem může být Brazílie i další státy, kde se biolih vyrábí z cukrové třtiny, případně i z odpadů jejího zpracování pro další výrobky. Hodnocení produkce pohonných hmot z biomasy je proto nutné posuzovat podle místních podmínek a její produkci prosazovat především podle efektivity její výroby a s ohledem na míru ekologických přínosů, včetně vlivu na omezování vzniku skleníkových plynů.

Důležitou surovinou pro biolih může ale být biomasa z nejrůznějších druhů celých rostlin (biopaliva II. generace), případně i z vhodných zbytků rostlinných materiálů. Tyto technologie již existují a proto by bylo velmi účelné podpořit jejich zdokonalení a následný rozvoj. Takový zdroj pro výrobu biolihu by pak byl nesporně významný i v oblastech mírného pásma, včetně ČR. (Stupavský, 2008. Mousdale, 2010)

### 3.1.3 Plynná biopaliva

Plynná biopaliva jsou biopaliva, která se v podmínkách, při nichž jsou skladována, dopravována a připravována pro energetické využití, nachází v plynném stavu. Mezi plynná biopaliva jsou řazena zejména následující biopaliva:

- **Bioplyn** skládající se z methanu a oxidu uhličitého a produkovaný přirozeným rozkladem na skládkách odpadů nebo v zemědělství.
- **Dřevoplyn** skládající se z oxidu uhelnatého a vodíku vyráběný zplyňováním biomasy.
- **Vodík** vyrobený štěpením jakéhokoliv uhlovodíkového biopaliva.

### Bioplyn

Plynná forma biomasy - biopliv vznikající jako bioplyn v bioplynových stanicích je vhodný způsob využívání biomasy. Proto by měl být rozvoj bioplynových stanic podporován a to především tzv. zemědělských. Využívání bioplynu pro energii je navíc efektivnější, než přímé spalování, ale je náročnější na investice. Proto je spalování zatím nejvíce rozšířené, neboť je jistě snazší koupit si kotel na biomasu a spalovat ji, než postavit bioplynovou stanici. (Weiss, V., Svobodová, J., 2014)



### 3.1.4 Potenciál biomasy

V odborné literatuře i v dosud zpracovaných studiích potenciálu obnovitelných zdrojů se objevuje mnoho stupňů nebo typů potenciálu, které jsou definovány nejčastěji mírou omezení pro jeho využití, které byly pro vyhodnocení použity. V případě biomasy je na vrcholu této pomyslné stupnice potenciál, který je omezen jen rozlohou oblasti a produkčními podmínkami ekosystémů. Na druhé straně je potom potenciál, který je komerčně využitelný v aktuálních ekonomických podmínkách. Definujeme tyto jednotlivé úrovně:

- **Technický potenciál** chápeme jako množství energie, které je možno z obnovitelného zdroje (např. z biomasy) získat technickými prostředky, které jsou k dispozici. Jedná se o teoretický potenciál, ve kterém je množství zdroje omezeno pouze technickými bariérami – tzn. rozlohou oblasti (lesní a zemědělské půdy) a produkčními podmínkami, které jsou charakterizovány zejména sumou teplot, sumou srážek a částečně také úrodností půdy. Stanovený teoretický potenciál nemá praktické využití, ale bývá mezistupněm pro stanovení dostupného potenciálu.
- **Dostupný (realizovatelný) potenciál** je technický potenciál, jehož zdroje jsou dále omezeny environmentálními, administrativními, legislativními, technickými bariérami či dalšími jinými omezeními. Příkladem jsou omezení pro využití biomasy na zvláště chráněných územích, v pásmech hygienické ochrany (PHO). Tato omezení jsou relativně snadno definovatelné v prostoru a čase například pomocí map.
- **Využitelný potenciál** je dostupný potenciál, který je omezen využitím přírodního zdroje pro jiné účely než energetické, jako je například využití zemědělské půdy pro produkci potravin, surovin atd. Tyto bariéry jsou již hůře definovatelné zejména pro velké územní celky a proto se jejich rozsah nebo časový vliv řeší pomocí vhodných metodických postupů využívajících relativních hodnot a expertních odhadů.
- **Ekonomicky využitelný (komerční) potenciál** je potenciál biomasy, který je využitelný komerčně v aktuálních ekonomických podmínkách. Za omezující podmínky se obvykle uvažují ekonomické, fiskální a legislativní podmínky, energetická politika státu, dostupnost zařízení, investiční a provozní náklady. Vychází se z využitelného potenciálu, který je dále ekonomicky hodnocen metodikou minimální ceny pro efektivní technologie pěstování, sklizně (těžby) a dopravy na definovanou vzdálenost (okraj pole, odvozní místo).

Hodnoty, kterých potenciál biomasy nabývá v uvedených úrovních, je možno vyjádřit v různých jednotkách. Často je to v základních jednotkách energetických (MJ, GJ, TJ, PJ), hmotnostních (t, kg) nebo objemových ( $m^3$ ). V mnoha případech je nutné uvádět potenciál v kombinovaných jednotkách vyjadřujících distribuci potenciálu v krajině ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ,  $t(suš) \cdot ha^{-1}$ ), výnosový potenciál zdrojů biomasy ( $t(suš) \cdot ha^{-1}$ ,  $kWh \cdot ha^{-1}$ ) nebo ekonomický potenciál jednotlivých zdrojů a forem biomasy ( $Kč \cdot GJ^{-1}$ ,  $Kč \cdot t(suš)^{-1}$ ). Ve všech případech je nutno uvádět obsah vody v biomase, která má zásadní vliv na výhřevnost a hmotnost. (Havlíčková, K. a kol., 2010)

## 3.2 Legislativa

Pro posouzení kvality spalovacích procesů a vlivů zařízení spalujících dřevo, uhlí nebo biomasu na životní prostředí je nutné znát některé právní podmínky. Tyto podmínky se týkají především oblasti emisí při spalování a kvality paliv z hlediska ochrany ovzduší.

Základní právní předpisy týkající se spalování tuhé biomasy jsou:

- zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb.
- nařízení vlády č. 146/2007 o emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší;
- vyhláška č. 13/2009 Sb. O stanovení požadavků na kvalitu paliv pro stacionární zdroje z hlediska ochrany ovzduší;
- směrnice č. 55 – 2010 MŽP ČR, Topné pelety z rostlinné biomasy;
- Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012–2020

### 3.2.1 Zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb.

Ochranou ovzduší se rozumí předcházení znečišťování ovzduší a snižování úrovně znečišťování tak, aby byla omezena rizika pro lidské zdraví způsobená znečištěním ovzduší, snížení zátěže životního prostředí látkami vnášenými do ovzduší a poškozujícími ekosystémy a vytvoření předpokladů pro regeneraci složek životního prostředí postižených v důsledku znečištění ovzduší. (zákon č.201/2012 Sb.)

**Tento zákon zapracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje:**

- a) přípustné úrovně znečištění a znečišťování ovzduší,
- b) způsob posuzování přípustné úrovně znečištění a znečišťování ovzduší a jejich vyhodnocení,
- c) nástroje ke snižování znečištění a znečišťování ovzduší,
- d) práva a povinnosti osob a působnost orgánů veřejné správy při ochraně ovzduší,
- e) práva a povinnosti dodavatelů pohonných hmot a působnost orgánů veřejné správy při sledování a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot v dopravě.

**Pro účely tohoto zákona se rozumí:**

- a) ovduším vnější ovzduší v troposféře,
- b) znečišťující látkou každá látka, která svou přítomností v ovzduší má nebo může mít škodlivé účinky na lidské zdraví nebo životní prostředí anebo obtěžuje zápachem,
- c) znečišťováním (emisí) vnášení jedné nebo více znečišťujících látek do ovzduší,
- d) úrovní znečištění hmotnostní koncentrace znečišťující látky v ovzduší (imise) nebo její deponice na zemský povrch za jednotku času,
- e) stacionárním zdrojem ucelená technicky dále nedělitelná stacionární technická jednotka nebo činnost, které znečišťují nebo by mohly znečišťovat, nejde-li o stacionární

technickou jednotku používanou pouze k výzkumu, vývoji nebo zkoušení nových výrobků a procesů,

**f)** mobilním zdrojem se rozumí samohybná a další pohyblivá, případně přenosná technická jednotka vybavená spalovacím motorem, pokud tento slouží k vlastnímu pohonu nebo je zabudován jako nedílná součást technologického vybavení,

**g)** spalovacím stacionárním zdrojem stacionární zdroj, ve kterém se oxidují paliva za účelem využití uvolněného tepla,

**h)** provozovatelem právnická nebo fyzická osoba, která stacionární zdroj skutečně provozuje; není-li taková osoba známa nebo neexistuje, považuje se za provozovatele vlastník stacionárního zdroje,

**i)** emisním limitem nejvýše přípustné množství znečišťující látky nebo skupiny znečišťujících látek vnášené do ovzduší ze stacionárního zdroje,

**j)** emisním stropem nejvýše přípustné množství znečišťující látky vnesené do ovzduší za kalendářní rok,

**k)** imisním limitem nejvýše přípustná úroveň znečištění stanovená tímto zákonem,

**l)** palivem spalitelný materiál v pevném, kapalném nebo plynném skupenství, určený jeho výrobcem ke spalování za účelem uvolnění energetického obsahu tohoto materiálu,

**m)** těkavou organickou látkou (VOC) jakákoli organická sloučenina nebo směs organických sloučenin, s výjimkou methanu, která při teplotě 20 °C má tlak par 0,01 kPa nebo více nebo má odpovídající těkavost za konkrétních podmínek jejího použití,

**n)** organickým rozpouštědlem jakákoli těkavá organická látka, která je používána samostatně nebo ve směsi s jinými látkami, aniž by přitom prošla chemickou změnou, k rozpouštění surovin, produktů nebo odpadů, nebo která se používá jako čisticí prostředek k rozpouštění znečišťujících látek, jako odmašťovací prostředek, jako dispergační činidlo, jako prostředek používaný k úpravě viskozity nebo povrchového napětí, jako změkčovač nebo jako ochranný prostředek,

**o)** tepelným zpracováním odpadu oxidace odpadu nebo jeho zpracování jiným termickým procesem, včetně spalování vzniklých látek, pokud by tím mohlo dojít k vyšší úrovni znečišťování oproti spálení odpovídajícího množství zemního plynu o stejném energetickém obsahu. (zákon č.201/2012 Sb.)

Mimo jiné zákon stanovuje základní pojmy v oblasti ochrany ovzduší, práva a povinnosti osob a působnost správních úřadů při ochraně vnějšího ovzduší před vznášením znečišťujících látek a další podmínky pro snižování množství vypouštěných znečišťujících látek, dále potom také povinnosti provozovatelům stacionárního zdroje znečišťování.

**Základní povinnosti provozovatele stacionárního zdroje dle § 17 zákona č.201/2012 Sb., uvedených v 1.odstavci patří:**

**a)** uvádět do provozu a provozovat stacionární zdroj a činnosti nebo technologie související s provozem nebo zajištěním provozu stacionárního zdroje, které mají vliv na úroveň znečištění, v souladu s podmínkami pro provoz tohoto stacionárního zdroje stanovenými tímto zákonem, jeho prováděcími právními předpisy a výrobcem,

- b) dodržovat emisní limity, emisní stropy, technické podmínky provozu a přípustnou tmavost kouře podle § 4,
- c) spalovat ve stacionárním zdroji pouze paliva, která splňují požadavky na kvalitu paliv stanovené prováděcím právním předpisem a jsou určena výrobcem stacionárního zdroje nebo paliva uvedená v povolení provozu,
- d) předkládat příslušnému orgánu ochrany ovzduší na vyžádání informace o provozu stacionárního zdroje a jeho emisích, včetně údajů o vnášení skleníkových plynů do ovzduší,
- e) umožnit osobám pověřeným ministerstvem, obecním úřadem obce s rozšířenou působností a inspekci přístup ke stacionárnímu zdroji a jeho příslušenství, používaným palivům a surovinám a technologiím souvisejícím s provozem nebo zajištěním provozu stacionárního zdroje, za účelem kontroly dodržování povinností podle tohoto zákona,
- f) provést kompenzační opatření uložená krajským úřadem podle § 11 odst. 5,
- g) provozovat spalovací stacionární zdroj na pevná paliva o jmenovitém tepelném příkonu od 10 do 300 kW včetně, který slouží jako zdroj tepla pro teplovodní soustavu ústředního vytápění, v souladu s minimálními požadavky uvedenými v příloze č. 11 k tomuto zákonu,
- h) provádět jednou za dva kalendářní roky prostřednictvím osoby, která byla proškolená výrobcem spalovacího stacionárního zdroje a má od něj udělené oprávnění k jeho instalaci, provozu a údržbě (dále jen „odborně způsobilá osoba“), kontrolu technického stavu a provozu spalovacího stacionárního zdroje na pevná paliva o jmenovitém tepelném příkonu od 10 do 300 kW včetně, který slouží jako zdroj tepla pro teplovodní soustavu ústředního vytápění, a předkládat na vyžádání obecnímu úřadu obce s rozšířenou působností doklad o provedení této kontroly vystavený odborně způsobilou osobou potvrzující, že stacionární zdroj je instalován, provozován a udržován v souladu s pokyny výrobce a tímto zákonem.

Povinnost uvedená v odstavci 1 písm. e) se nevztahuje na provozovatele stacionárního zdroje umístěného v rodinném domě, v bytě nebo ve stavbě pro rodinnou rekreaci, nejde-li o prostory užívané pro podnikatelskou činnost. (zákon č.201/2012 Sb.)

### 3.2.2 Nařízení vlády č.146/2007 Sb.

V tomto nařízení vlády jsou kromě jiného určeny limitní účinnosti spalovacích zařízení pro spalování tuhých paliv a emisní limity obsahu CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>. Konkrétně toto říká § 5 Podmínky provozu malých spalovacích zdrojů: Malý spalovací zdroj musí být provozován s požadovanou účinností spalování paliv a s přípustnou koncentrací oxidu uhelnatého ve spalinách stanovenými v příloze č. 7 k tomuto nařízení. (zákon č.146/2007 Sb.)

**Emisní limity pro velké a střední spalovací zdroje(viz tab.2) pro oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>), oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>), vyjádřené jako NO<sub>2</sub>) tuhé znečišťující látky (TZL) a oxid uhelnatý (CO), případně organické látky vyjádřené jako suma organického uhlíku (Σ C)**

1. Emisní limity pro velké a střední spalovací zdroje podle druhu spalovaného paliva a druhu topeniště

1.1. Emisní limity při spalování tuhých paliv a tuhých paliv s obsahem syntetických pojiv jsou vztaženy k referenčnímu obsahu kyslíku 6 %, při spalování biomasy 11 %, při spalování kapalných a plyných paliv při referenčním obsahu kyslíku 3 %.

1.2. Hodnoty emisních limitů pro každý jednotlivý zdroj se vztahují k tepelnému výkonu velkého nebo středního spalovacího zdroje.

1.3. Stupeň odsiřování 75 %, nelze-li při spalování tuzemského paliva ve fluidních kotlích dosáhnout emisního limitu při únosném přidavku aditiva, musí být koncentrace snížena alespoň na 25 % původní hodnoty.

1.4. Emisní limity fluidních kotlů se jmenovitým tepelným výkonem nižším než 5 MW.t<sup>-1</sup> jsou stejné jako emisní limity klasických kotlů v závislosti na druhu spalovaného paliva.

**Tab. 2:** Emisní limity dle tepelného výkonu spalovacího zdroje

Druh paliva a topeniště	Emisní limity podle jmenovitého tepelného výkonu spalovacího zdroje vztahované na normální stavové podmínky a suchý plyn [mg.m <sup>-3</sup> ]											
	0,2 - 1 MW				1 - 5 MW				5 - 50 MW			
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TZL	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TZL	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TZL	CO
Tuhé palivo ve fluidním topeništi	2500	650	250	650	2500	650	250	650	800	400	100	250
Tuhé palivo ve výtavném topeništi	2500	1100	250	650	2500	1100	250	650	2500	1100	150	400
Tuhé palivo v ostatních topeništích <sup>1)</sup>	2500	650	250	650	2500	650	250	650	2500	650	150	400
Biomasa	2500	650	250	650	2500	650	250	650	2500	650	250	650
Kapalné palivo	<sup>2)</sup>	500	100	175	<sup>2)</sup>	500	100	175	1 700	450	100	175
Plynné palivo obecně	35	200	-	100	35	200	-	100	35	200	-	100
Plynné palivo mimo veřejné distribuční síť	900	200	50	100	900	200	50	100	900	200	50	100
Propan, butan a jejich směsi	35	300	50	100	35	300	50	100	35	300	50	100
Paliva uvedená v § 4 odst.1	2500	650	150	300	2500	650	150	300	2500	650	150	300

**Zdroj:** <http://www.eurochem.cz>

Poznámky:

1) Též granulární nebo roštové kotle s přiřazenými fluidními reaktory, jejich kombinace s fluidními ohništi nebo tyto kotle s využitím prvků fluidní techniky.

2) Obsah síry v kapalných palivech nesmí překročit limitní hodnoty obsažené v jiném právním předpisu stanovujícím požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší.

### 3.2.3 Vyhláška č. 13/2009 Sb.

Tato vyhláška zpracovává příslušné předpisy Evropských společenství a stanoví požadavky na kvalitu paliv pro stacionární zdroje z hlediska ochrany ovzduší, lhůty k jejich dosažení, požadavky na odběr vzorků paliv, ověřování a osvědčování kvality paliv a způsob a termín ohlašování údajů o obsahu síry v některých kapalných palivech.

Palivem je zde dle § 2 odstavce a) spalitelný materiál v pevném, kapalném nebo plynném skupenství, určený ke spalování ve stacionárních zdrojích za účelem uvolnění jeho energetického obsahu; za palivo podle této vyhlášky není považován odpad podle jiného právního předpisu s výjimkou rostlinného odpadu, jehož spalování nespadá do působnosti jiného právního předpisu.

Měrnou sirtatostí je dle § 2 odstavce d) celkový obsah síry v původním stavu, vztažený k výhřevnosti spalovaného paliva v původním stavu, vyjádřený v MJ. g<sup>-1</sup>.

Požadavky na kvalitu tuhých paliv jsou určeny v § 3 odst. 4) Minimální výhřevnost pevných paliv, určených ke spalování v malých stacionárních zdrojích, nesmí být v bezvodém stavu nižší než 12 MJ. kg<sup>-1</sup>. Minimální výhřevnost pevných paliv, určených ke spalování ve středních stacionárních zdrojích, nesmí být v bezvodém stavu nižší než 10 MJ. kg<sup>-1</sup>.

(zákon č. 13/2009 Sb.)

### 3.2.4 Směrnice č. 55 – 2010 MŽP ČR

Pomocí této směrnice se stanovují požadavky a environmentální kritéria pro propůjčení ochranné známky „Ekologicky šetrný výrobek“.

#### Topné pelety z bylinné fytomasy

Cílem stanovení kritérií Národního programu označování ekologicky šetrných výrobků pro udílení ekoznačky „Ekologicky šetrný výrobek“ pro topné pelety z bylinné biomasy je zejména podporovat:

- paliva, výrobky a materiály, které představují alternativu k jiným, běžně užívaným fosilním palivům,
- využívání obnovitelných zdrojů, zpracování a energetické využití rostlinného odpadu,
- snižování případných rizik pro životní prostředí a zdraví, spojených se spalováním fosilních a jiných paliv s obsahem nebezpečných látek nebo předcházení těmto rizikům.

Cílem ekoznačky je navíc posilovat u spotřebitelů povědomí o ochraně životního prostředí.

Pro účely této směrnice se peletou rozumí palivo uměle upravené lisováním sypkého materiálu bez přídavných pojiv do formy vhodné pro spalování. Obvykle má lisovaný materiál tvar válce o průměru nejvíce 25 mm.

Technická směrnice MŽP č. 55-2008 se vztahuje na pelety z bylinné fytomasy, nekontaminovaného rostlinného odpadu ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny, zahradnictví, lesnictví vyráběné z rostlinných pletiv a s množstvím příměsí a pojiv omezeným na max. 6 % hmotnosti. (směrnice č.55/2010 MŽP ČR)

Specifické požadavky na pelety dle směrnice MŽP jsou uvedeny v tab. 3.

**Tab. 3:** *Specifické požadavky na pelety dle směrnice č. 55 – 2008 MŽP ČR*

<b>Výhřevnost vztažená na bezvodý stav</b>	min. 16 MJ. kg <sup>-1</sup>
<b>Obsah vody celkový</b>	max. 10%
<b>Obsah popela přepočtený na bezvodý stav</b>	max. 6%
<b>Hustota pelety, měrná hmotnost</b>	min. 1,12kg . dm <sup>-3</sup>
<b>Otěr, mechanická odolnost</b>	max. 2,3%
<b>Obsahy prvků vztažené na bezvodý stav vzorku:</b>	
<b>dusík celkový (Ncelk.)</b>	max. 0,9% hm.
<b>síra celková (Scelk.)</b>	max. 0,15% hm.
<b>chlór celkový (Clcelk.)</b>	max. 0,18% hm.

Zdroj: <http://www.cenia.cz>

### 3.2.5 Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012–2020

Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012–2020 (dále APB) představuje analýzu využití biomasy v ČR pro energetické účely a navrhuje opatření vhodná pro udržitelnost zemědělsko-energetického propojení do roku 2020. Cílem tohoto materiálu je tudíž propojit hlavní sektorovou prioritu určení potenciálu zemědělské půdy pro zajištění 100% potravinové soběstačnosti země s možností efektivního využití zbývajících potenciálů zemědělské půdy ČR a lesní dendromasy pro energetickou potřebu. Účelem je tak i upřesnění odhadu možného přínosu biomasy pro energetickou bilanci. Materiál obsahuje informace o hlavních oblastech energetického využití biomasy včetně využití pevné biomasy pro přímé spalování na výrobu tepla a elektrické energie, výroby bioplynu a kapalných biopaliv, a navrhuje opatření vhodná pro udržitelnost této oblasti do roku 2020. (Ministerstvo zemědělství, 2012)

## 3.3 Pelety z biomasy

Pelety jsou vysoce stlačené výlisky válcovitého tvaru, nejčastěji vyráběny v průměru 6-14 mm a různorodé délce 5 – 40 mm. Pelety jsou vyráběny z organického materiálu (dřevních zbytků, obvykle z pilin a hoblin). Kromě těchto dřevních pelet se také na trhu objevují pelety rostlinné, kůrové, rašelinové a pelety z dalších materiálů z biomasy a jejich vzájemných směsí – tzv. směsné pelety. (Stupavský, 2010)

Pelety patří mezi nejušlechtlejší dřevní palivo. Mají nízký obsah vody (okolo 10%), vysokou výhřevnost (do 18,5 MJ. kg<sup>-1</sup>), nízký obsah popelovin, snadno se s nimi manipuluje a jejich spalování probíhá s minimálními negativními účinky na ekologii. Proto je toto palivo obecně považováno za palivo budoucnosti nejen v zemích západní Evropy.

Aby mohly pelety úspěšně konkurovat fosilním palivům a ostatním formám biomasy, je potřeba zajistit jejich spolehlivou distribuci ke konečným uživatelům, nabídnout jim kvalitní technologická zařízení na spalování pelet a to vše navíc za přijatelnou cenu.

V současné době se čeští výrobci pelet i technologických zařízení na spalování pelet soustřeďují převážně na zahraniční trhy, kde svými nižšími cenami i kvalitou výrobků úspěšně konkurují zahraničním firmám.

V ČR není doposud trh s peletami a s technologickými zařízeními na jejich spalování tak rozvinut, jako je tomu u našich nejbližších sousedů, v Rakousku a v Německu, nebo ve skandinávských zemích. (Klobušník, 2003)

Zdroj: <http://www.biom.cz>



Obr. 3: Dřevěné pelety bez kůry

Zdroj: <http://www.biom.cz>



Obr. 4: Dřevěné pelety s kůrou

### 3.3.1 Druhy pelet

Pelety můžeme rozdělovat v zásadě podle použitých materiálů na jejich výrobu a lze je vyrábět z následujících materiálů:

- z měkkého dřeva z čistých suchých hoblovaček (viz obr. 3)
- z čisté směsi vlhkých katrových (odpad z rámových pil) pilin
- z kůry stromů (viz obr. 4)
- z lesní štěpky
- z rychle rostoucích dřevin (např. topol)
- ze stébelnin (např. šťovík, křídlatka, chrastice, len, konopí)
- ze slámy
- ze směsí (např. dřevní piliny – stébelniny, šťovík – křídlatka)
- z čistírenských kalů, ze sběrového papíru

Nejčastěji používaným materiálem na výrobu pelet jsou *dřevěné piliny*, které se za vysokého tlaku lisují na protlačovacích matricových lisech. Vlivem tlaku se piliny zahřejí, přičemž se uvolňuje lignin (látka dodávající pevnost dřevu), který tvoří spolu s přidávaným organickým pojivem (např. do 2% melasy, kukuřičné mouky) pojivo udržující peletu po vychladnutí v požadovaném tvaru a zároveň zabraňuje jejímu rozdrolení při manipulaci. Lignin dále na povrchu vytvoří tvrdý průsvitný povlak, který zabraňuje vnikání vlhkosti do pelet při jejich skladování. (Klobušník, 2003)

Zatím méně rozšířené jsou pelety vyráběné výhradně ze stébelnin (problematický je větší obsah chloru, který se do rostlin dostává z hnojiv) např. obilné slámy, ozdobnice čínské nebo směsné pelety ze stébelnin s přidávkem uhelného nebo vápenného prachu pro zvýšení jejich výhřevnosti a omezení nežádoucích vlastností popela. (ČSN EN ISO 17225-6)

Požadované fyzikální a technické parametry nejčastěji vyráběných a v praxi používaných pelet jsou uvedeny v následující tabulce 4:



**Tab.4:** Fyzikální a technické parametry nejčastěji vyráběných pelet

Průměr (mm)	Délka (mm)	Objemová sypná hmotnost (kg. m <sup>-3</sup> )	Výhřevnost (kWh.kg <sup>-1</sup> )	Vlhkost (%)	Obsah popela/váha (%)	Obsah drolu (prach) (%)	Teplota tání popela (°C)
6-12	max.35	600-650	4,7-5,1 16,9-18,5 MJ.kg <sup>-1</sup>	max.12	0,5	3	min.1100

**Zdroj:** Pelety – palivo budoucnosti (2003)

Jaké bývá organické a chemické složení u dřevních pelet je uvedeno v následující tabulce 5:

**Tab. 5:** Organické a chemické složení dřevních pelet

Organické složení pelet:	
celulóza	40-55%
lignin	20-35%
glycidy	18-25%
popel	0,3-0,8%

Chemické složení pelet	
uhlík	51%
kyslík	42%
vodík	6%
dusík	1%

**Zdroj:** Pelety – palivo budoucnosti (2003)

### 3.3.2 Kvalita pelet v ČR, Evropě

V České republice je již celá řada výrobců pelet (cca 18 výrobců), kteří větší část své produkce (až 90%) vyvážejí nyní do zahraničí. Aby čeští výrobci pelet obstáli ve velké konkurenci ostatních výrobců pelet, jsou nuceni respektovat požadavky zahraničního trhu, mezi které patří zejména: odpovídající kvalita pelet ověřená povinnými testy zkušebních vzorků pelet deklarovaná certifikací a cenou. Z těchto důvodů kvalita pelet vyráběných v ČR je zpravidla srovnatelná s evropskou i světovou úrovní. (Klobušník, 2003)

V současné době je v ČR nejznámější ochrannou známkou kvality tzv. Certifikace ENplus.

#### Certifikace ENplus

Certifikace ENplus (viz obr. 5) zaručuje kvalitu dřevních pelet tak, aby chránila všechny zúčastněné. Zákazník má zaručeno, že peleta vyhovuje přísným normám a byla

**Zdroj:** <http://www.biom.cz>



**Obr. 5:** Mezinárodní standard ENplus

dodána odpovídajícím způsobem. Prodejci mají jistotu, že rozvážejí kvalitní pelety. Výrobce pelet může případným kontrolorům zpětně předložit vzorek výroby za kterékoli zjišťované období. A výrobci kotlů a kamen se mohou bránit při reklamacích, kdy kotle nedosahují slibovaných parametrů nebo byly poničeny kvůli použití nekvalitních pelet.

Certifikace znamená vyšší kvalitu, ne vyšší cenu.

Pro výrobce ani obchodníky neznámá žádná náklady navíc. Naopak zákazníci si mohou vybírat mezi konkurenčními výrobci, kteří všichni

garantují stejně vysokou kvalitu pelet.

S certifikací ENplus se vyrábí celosvětově přes 50% všech dřevěných pelet, je rozšířena ve 20 evropských zemích a dokonce i v USA a Kanadě. U nás mají značku ENplus asi tři čtvrtiny vyrobených pelet, v Rakousku a Německu již dokonce 90 % celkové produkce. (Klastr Česká peleta, 2013)

## Kvalita ENplus pelet

Certifikované pelety splňují požadavky jednotné normy ISO 17225-2, která určuje základní parametry a kvalitu pelet. Vedle klasických měřítek, jako je výhřevnost nebo vlhkost, zavádí nová kritéria objemové hmotnosti a velikosti částic. Dalším novým kritériem je vysoká teplota tání popela, jinak by popel mohl struskovat a napékat se na hořáky.

ENplus dřevní pelety jsou rozděleny do tří tříd dle kvality použitého dřeva (viz tabulka 6):

**Třída A1** je prvotřídní kvalita používaná v kotlích a kamnech v domácnostech. Pelety jsou vyrobeny pouze z chemicky neošetřených zbytků dřeva z pil bez příměsí kůry a mohou obsahovat pouze 0,7 % popela.

**Třída A2** se používá ve větších kotlích a při jejím spalování vzniká víc popela. V těchto peletách již může být určitá část kůry, lesních těžebních zbytků, a tedy i vyšší procento popele, max. však do 1,5 %.

**Třída B** označuje dřevěné pelety pro průmyslové využití. Zde je již dovolen větší podíl popele, výroba z použitého dřeva a vyšší procento kůry. (ČSN EN ISO 17225-2)

**Tab. 6:** Typy dřeva obsažené v jednotlivých třídách

Typ dřeva	ENplus A1	ENplus A2	EN B
Kmenové dříví			
Chemicky neošetřené zbytky z dřevozpracujícího průmyslu			
Kůra			
Lesní těžební zbytky			
Celé stromy bez kořenů			
Chemicky neošetřené použité dřevo			
Lesní, plantážové a další surové dřevo			
Dřevo z demolice budov nebo jiných staveb	Jeho použití je v ENplus vyloučeno.		

**Zdroj:** <http://www.ceska-peleta.cz>

Co se týká kvality pelet v Evropě, tak zde se posuzuje jakost dle několika nejznámějších norem. Na trhu převládají německé normy DIN a DIN plus a rakouské normy ÖNORM M 7135-7137. Tyto normy určují, jaké musí být složení pelet. Občas se vyskytuje i švédská norma SS 18 71 20, která rozlišuje pelety především podle velikosti a množství popela. Jiné země s významnou výrobou a využitím pelet, jako je Dánsko a Finsko, se rozhodly počkat na dokončení společného evropského standardu pelet. (Česká peleta, 2013)

### 3.3.3 Technologická zařízení na spalování pelet

S jistotou se dá říci, že vývoj technologických zařízení na spalování a dopravu pelet velmi pokročil. Většina výrobců se snaží pouze přizpůsobit tato zařízení nově vyvíjeným palivům na bázi fytohmoty, tzv. směsných pelet (např. dřevní piliny-stébelniny) tak, aby

docházelo pokud možno k jejich optimálnímu spalování s minimálním dopadem jak na vlastní technologická spalovací zařízení (životnost hořáků a součástí technologických zařízení), tak také na životní prostředí (znečištění ovzduší emisemi).

Vyvinout universální kotel na spalování všech druhů pelet je nelehký úkol, a tak se můžeme nyní setkávat s peletovými kotli, které slouží ke spalování určitého standardizovaného druhu paliva (pelet) tak, aby při jejich provozu bylo dosaženo nejlepších technických a provozních parametrů (vysoká účinnost při spalování paliva, minimální znečištění ovzduší emisemi, provozní spolehlivost, snadná obsluha a údržba, vysoká životnost a přijatelná cena). (Klobušník, 2003)

## Druhy technologických zařízení na spalování pelet

V zásadě můžeme technologická zařízení na spalování pelet rozdělit obecně podle druhu a způsobů použití na :

- peletová krbová kamna (vhodná pro byt, rodinné domy, viz obr. 6)
- peletová krbová kamna teplovzdušná (byt, rodinné domy, viz obr. 7)
- peletová krbová kamna teplovodní (byt, rodinné domy)
- peletová krbová kamna teplovodní + teplovzdušná (byt, rodinné domy)
- peletové krbové vložky teplovodní (byt, rodinné domy)
- peletové krbové vložky teplovzdušné (byt, rodinné domy)
- peletové krbové vložky teplovodní + teplovzdušné (byt, rodinné domy)
- peletové teplovodní kotle (rodinné domy, bytové domy, provozovny, dílny)
- kombinované teplovodní kotle na spalování pelet a dřeva (rodinné domy, dílny)
- peletové hořáky (pro různé typy hořáků pro rodinné domy, dílny, haly)
- teplovzdušné peletové kotle (vytápění průmyslových staveb, zařízení stavenišť)
- peletové kotle velkých výkonů (velké výtopny, teplárny, průmyslové využití)

**Zdroj:** <http://www.vytapeni-klimatizace.bydleniprokazdeho.cz>



**Obr. 6:** Peletová krbová kamna



**Obr. 7:** Peletová krbová kamna teplovzdušná

### 3.3.4 Použití pelet

O možnostech vyššího využití pelet k vytápění a ohřevu užitkové vody v ČR bylo vypracováno již několik studií, ve kterých byly porovnávány různé varianty náhrady původně používaného neekologického paliva v obcích (zejména hnědého, sirnatého uhlí) k vytápění a ohřevu užitkové vody za ekologičtější paliva a energie (zemní plyn, biopaliva, elektřina).

Z těchto studií vyplývá, že nejperspektivnější variantou (s ohledem na snížení množství emisí, budoucí vývoj cen paliv a energií, na bezpečnost a soběstačnost v zásobování palivy a energiemi a zaměstnanost obyvatelstva), je varianta, která uvažuje pro vytápění a ohřev užitkové vody v obci použít decentralizované zdroje tepla (s ohledem na rozptýlenost zástavby) na biopaliva (v menších bytech – lokální zdroje tepla na pelety pro vytápění + el. zásobníkové nebo průtokové ohříváče pro ohřev užitkové vody, v rodinných domcích – automatické teplovodní kotle na pelety pro vytápění + kombinované el. zásobníkové ohříváče pro ohřev užitkové vody). (Klobušník, 2003)

Dále z těchto studií vyplývá, že potřebná biopaliva (pelety, štěpky) sloužící k výrobě tepla pro potřeby obyvatel obce by měla být vyráběna pokud možno z místních zdrojů – pilin, dřeva, slámy a energetických rostlin pěstovaných na přilehlých zemědělských pozemcích.

Pelety lze používat v široké výkonové škále kotlů a kamen v rodinných domech i ve větších budovách. Protože jsou sypké, mohou se používat i v kotelnách s automatickým provozem. Pomocí dopravníku je možné přesně a plynule regulovat přísun paliva a tím regulovat tepelný výkon kotle. Vzhledem k povaze paliva jde o zcela čistý a obnovitelný zdroj energie. Z těchto důvodů dělí na pelety určené pro domácnosti a pelety určené pro průmyslové vytápění a ohřevy (například teplárny, elektrárny). Pelety určené pro průmysl bývají zpravidla horší jakosti, mívají větší obsah příměsí, nižší výhřevnost a vyšší obsah popelovin resp. nespalitelných látek, pro domácí kotelny obvykle nejsou vhodné.

U pelet určených pro domácnost je také výhodné, pokud jsou vyrobeny ze dřeva pocházejícího z jednoho druhu stromů (smrk, borovice, modřín apod.). (Stupavský, 2010)

### 3.3.5 Základní technické parametry + obecná doporučení

- výhřevnost: 16 až 18 MJ.kg<sup>-1</sup>
- váha / objem: cca 850 kg.m<sup>-3</sup>
- vlhkost: max. do 10 %
- popelnatost: max. 0,5 %

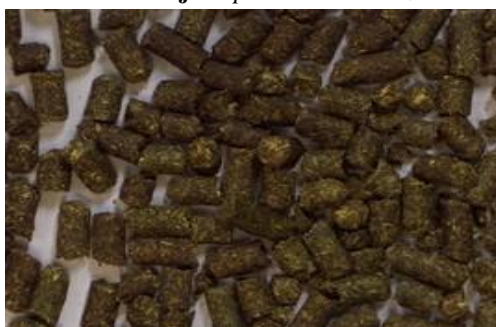
Nejdůležitější vlastností pelet je *výchřevnost*, která je závislá na jejich kvalitě a složení. Dle ČSN EN ISO 16559 se výhřevností rozumí vypočítaná hodnota specifické energie spalováním tuhého paliva spáleného v kyslíku za takových podmínek, že všechna voda z reakčních zplodin zůstává ve formě vodní páry. U dřevěných pelet lze poznat jejich původ díky zabarvení. Čistá dřevní peleta bez příměsí kůry bývá nejsvětlejší, čím je peleta tmavší, tím v ní bývá více příměsí, nejčastěji kůry (viz obrázky 1 a 2 výše). Platí tedy obecné pravidlo čím světlejší peleta, tím kvalitnější. (ÚNMZ, 2015)

Obecným doporučením při nákupu pelet od nového dodavatele je nejprve si pelety vyzkoušet. Není přípustné, aby při spalování pelet vznikala struska (vedlejší produkt spalovacího procesu), která zabraňuje správné funkci hoření a snižuje účinnost a funkčnost

kotle. Tento stav může nastat u některých méně kvalitních směsných a rostlinných pelet (viz obr. 8) používaných v kotlích výhradně na dřevěné pelety. V případě, že jsou pelety i dodavatelské vztahy v pořádku, můžeme přistoupit na odběr většího množství pelet, resp. se předzásobit na celou topnou sezónu.

Paliva není nedostatek, je možno si jej kdykoliv a v jakémkoliv množství objednat od distributorů nebo ve specializovaném obchodě. Obchodník, který nemá během roku na skladě dostatečné zásoby paliva nebo prodeje řeší formou pořádku, není kvalitním dodavatelem paliva a je lepší se obrátit na konkurenci. Také ceny pelet se významně liší během roku - v létě bývají zpravidla nejnižší a je dobré nakoupit zásobu na celou sezónu, jelikož v zimě ceny pelet narůstají až o 40 %. Na tyto aspekty se zaměříme v kapitole Ekonomické hodnocení efektivity investice. (Klobušník, 2003. Stupavský, 2010)

**Zdroj:** <http://www.biom.cz>



**Obr. 8:** Pelety ze sena

### 3.3.6 Technologie výroby dřevních pelet

Technologická linka na výrobu pelet zpracovává přivážený dřevní odpad – piliny a štěpku, které budou na lince sušeny a potom lisovány do peletek. Po granulaci budou granule zchlazeny a expedovány přes expediční zásobník a balící linku: buď v pytlích 15 kg nebo v 1000 kg vacích.

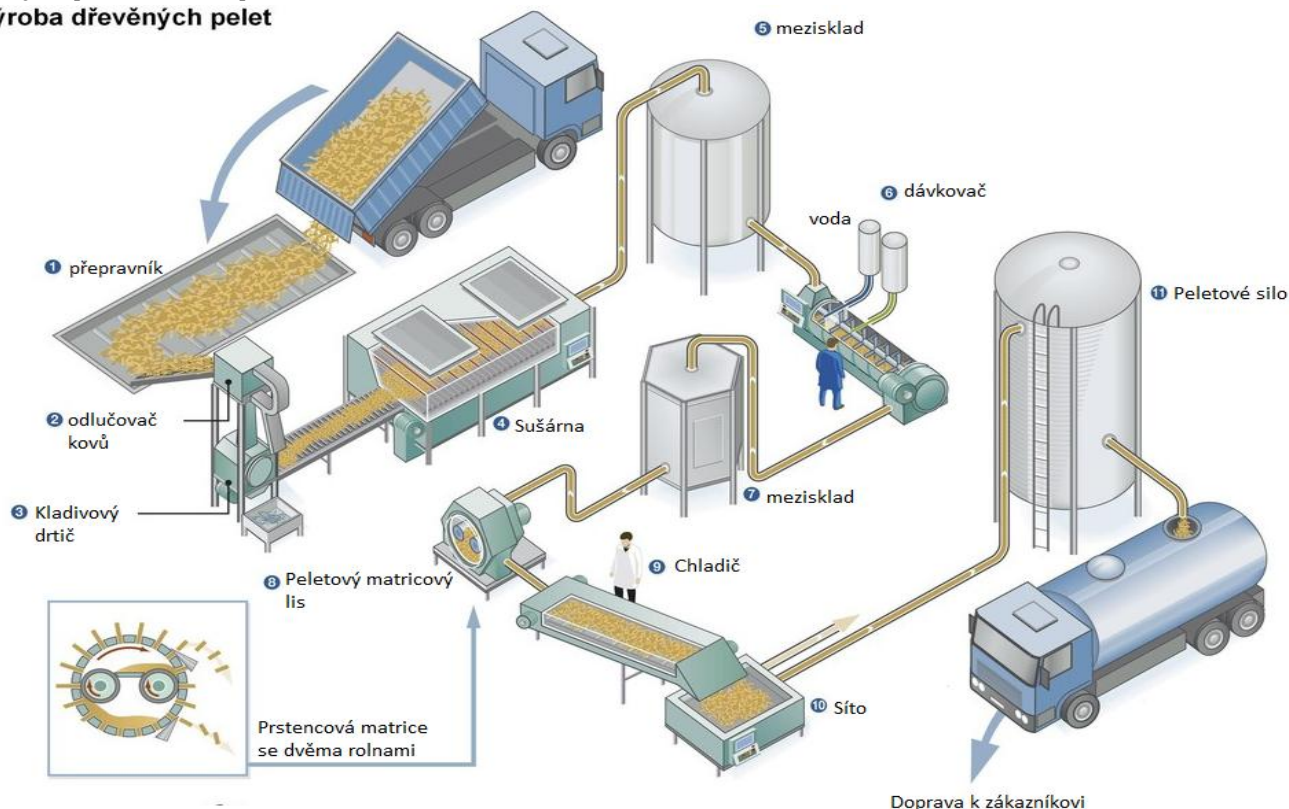
Vytápění sušárny je navrženo přímým spalováním části přiváženého dřevního odpadu v kotli např. VERNER GOLEM 1800. Sušení vstupní suroviny pro výrobu peletek bude prováděno na sušinu 12 – 14%.

Lisování peletek bude prováděno na granulátorech, kde každý má garantovaný výkon cca 1 t/h. Topný agregát je atestován. Jedná se o běžná zařízení, která se pro podobné účely používají. (Vácha, 2008)

Celý výrobní cyklus je ovládán z jediného místa – z rozvaděče ovládání, umístěného u granulátorů, rozhodující procesy jsou automatizovány (sušení, lisování), kotel má vlastní rozvaděč a je řízen automaticky. Proces je možné rozčlenit do následujících na sebe navazujících technologických fází (viz obr. 9):



Zdroj: <http://www.ceska-peleta.cz>  
**Výroba dřevěných pelet**



Obr. 9: Schéma výroby dřevěných pelet

### A. Příjem tříděných pilin a štěrky, jejich příprava a skladování

Výroba začíná příjmem suroviny, která bude do závodu dopravována velkoobjemovými kontejnery. Piliny a štěrka na výrobu peletek a palivo pro kotel budou dováženy z externích dřezpracujících závodů a skladovány pod přístřeškem v objektu bývalého uhelného skladu.

První vstupní surovina – štěrka - je z prostoru příjmu štěrky dopravena řetězovým dopravníkem do drtiče vlhké štěrky, tam je nadrcena na frakci vhodnou k usušení a dopravena pásovým dopravníkem s magnetickým separátorem kovů k česlím, kde je oddělena hrubá frakce.

Druhá vstupní surovina – pilina - je dopravena a přísouvána příslušnými dopravními prostředky (kontejnery a kolový nakladač) na podávací rošt, který při naplnění do výšky 2 m zásobuje linku cca 8 hodin pilinami. Hydraulicky poháněný podávací stůl je rozdělen na dvě sekce, které je možno vypnout každou zvlášť. Pracovník, který obsluhuje příjem suroviny, tak může navážet surovinu na právě vypnutou polovinu.

Rošt postupně přihruje materiál na řetězový dopravník s nastavitelnou rychlostí posunu, z kterého je pilina dopravena na pásový dopravník s magnetickým separátorem kovů k česlím. Hrablový dopravník přesune materiál do podávacího stolu s pohyblivým dnem, odkud je surovina dopravena pomocí dávkovacího žlabového dopravníku s měnitelnou rychlostí přes vpádové potrubí v sacím potrubí do sušícího bubnu. (Vácha, 2008)

## **B. Sušení**

Nasávaný vzduch je ohříván v kotli na štěpku (např. typ VERNER GOLEM 1800), který má vlastní zásobník štěpky s posuvným dnem a automatickým doplňováním štěpky šnekem. Z dohořivací komory horký vzduch unáší vstupní surovinu do vnitřního pláště bubny, proud spalin se sušenou hmotou se na konci obrací a prochází mezi vnitřním a středním pláštěm zpět. Zde se opět obrací a prochází mezi středním a vnějším pláštěm na konec bubny. Potrubím je hmota odsávána do hlavního cyklonu, kde se odděluje od spalin.

Při procesu sušení se buben otáčí kolem své podélné osy. Pohyb horkých spalin a sušené hmoty zajišťuje koncový hlavní ventilátor. V potrubí mezi sušícím bubnem a cyklonem je umístěn lapač těžkých předmětů.

Na výtlaku hlavního ventilátoru je umístěn koncový cyklon, zachycené prachové částice jsou odlučovány do big-bagu. Sušina se soustřeďuje ve spodní části hlavního cyklonu, odkud je dávkována rotačním podavačem do drtiče pomocí šnekového dopravníku.

Celý systém sušení je ovládán automatikou sušení, tento systém kontinuálně vyhodnocuje výstupní vlhkost a ovládá množství dávkované suroviny pro sušení. (Vácha, 2008)

## **C. Granulace a chlazení**

Sušina podrcená v drtiči je dopravena dopravníkem do míchacího zásobníku sušiny, odkud je dávkována šnekovými dopravníky do granulátorů k vlastnímu slisování. Před slisováním je sušina napařena suchou parou z vyvíječe páry, pro který se upravuje voda v úpravě vody, systém dávkování a napařování sušiny je řízen automatikou. Hotové pelety jsou dopraveny dopravníkem do protiproudého chladiče, kde dochází k dochlazení na teplotu vhodnou pro další manipulaci. (Vácha, 2008)

## **D. Třídění, balení a expedice**

Z výpadu chladiče, pomocí hrablového dopravníku, jsou pelety dopravovány do zásobníku expedice. Ze zásobníku jsou pelety odebírány přes bubnový třídič se sítím, v kterém dochází k oddělení drobných a prachových částic, do zásobníku plnicí stanice a odtud do plnicí, vážící a balící stanice a následnou expedici.

Pelety budou sypány do pytlů pomocí dopravníku a zároveň budou váženy dle požadované hmotnosti na poloautomatické váze. Balící zařízení, které je nastavitelné v rozmezí 15 – 25 kg, je ukončeno svařovacím zařízením pro uzavírání pytlů z PE materiálů.

Plné pytle budou ukládány na palety, které budou na ovinovacím stroji obaleny průtažnou folií. Pelety mohou být sypány i do velkých přepravních vaků (big-bagů), které jsou pro manipulaci opatřeny textilními oky.

Plné vaky a zabalené pelety se budou hned nakládat na kamion, nebo se převezou do skladu hotových výrobků, umístěném ve stejném objektu.

Kontrolu přiváženého polotovaru a kontrolu vlhkosti usušených pilin bude provádět obsluha. Kontrolu výrobků při expedici bude rovněž provádět obsluha. (Vácha, 2008)

## 4. Návrh řešení a dosažené výsledky

Byly pořízeny 4 druhy pelet od různých výrobců, u kterých se zjišťovaly jejich základní vlastnosti, pořizovací cena, způsob výroby a základní materiál z kterého jsou vyráběny. Nejdříve jsme vycházeli z údajů od výrobce (internetové zdroje či ústní informace) a pak jsme prováděli sami nezávislý test v laboratořích ČZU. Následně byly vyhodnoceny výsledky na základě kterých byly porovnávány s poskytovanými údaji od výrobců.

### 4.1 Údaje od výrobců a prodejců

4 testované vzorky pelet:

#### 1. Dřevní pelety ENplus A<sub>1</sub> - Pavel Pokorný, Kolín (prodejce) =< Karel Kulda, Stará Huť (výrobce a dodavatel) – Certifikát ENplus

a) **Popis:** Dřevní pelety ENplus A<sub>1</sub> (na obr. 10) vyrobené z pilin vznikajících zpracováním odkorněného dřeva. Pelety jsou lisovány v prstencovém granulovacím

**Zdroj:** <http://www.ekopelety.cz>



lisu do válečků o průměru 6mm. Správným vysušením vstupní suroviny a jejím následným zpracováním peleta získává správné vlastnosti, jako je vysoká výhřevnost a mechanická stálost. Pelety splňují evropskou normu ENplus A<sub>1</sub>.

**Obr. 10:** Dřevní pelety ENplus A<sub>1</sub>

Pelety ENplus A<sub>1</sub> jsou vhodné především do teplovzdušných kamen a do kotlů, které nemají spalovací komoru uzpůsobenou pro spalování méně kvalitních pelet.

Pelety vynikají především nízkým obsahem popela, což se projeví v nižších nárocích na obsluhu kotle, nebo kamen. Nízký obsah popela je dán tím, že certifikované pelety mohou být vyráběny pouze z kmenového dříví a chemicky neošetřených zbytků z dřevozpracujícího průmyslu, materiál tedy neobsahuje kůru a další příměsi, které vedou k většímu obsahu popela.

#### b) Parametry:

<i>Výhřevnost:</i> (v bezvodném stavu)	18,533 MJ.kg <sup>-1</sup>
<i>Popelnatost:</i>	0,38%
<i>Obsah vody:</i>	7,59%
<i>Délka pelet:</i>	5-25 mm
<i>Sypná hmotnost:</i>	650kg.m <sup>-3</sup>



### c) Balení:

#### 15kg PE sáčky:

65 sáčku na paletě = 975kg

vratná záloha na paletu 120x100 (100Kč/ks vč. DPH)

#### Pelety volně ložené:

Zaváženo cisternou

#### BIG BAG:

975kg pelet ve vaku

vratná záloha na paletu 120x100 (100Kč/ks vč. DPH)

vratná záloha na vak (200Kč/ks vč. DPH)

### d) Materiál:

Čisté piliny (obr. 11 a 12) ze smrkového odkorněného dřeva bez jakýchkoli příměsí.

*Zdroj: Autor, 2015*



**Obr. 11:** *Piliny ze smrkového dřeva*

*Zdroj: Autor, 2015*



**Obr. 12:** *Piliny ze smrkového dřeva*

### e) Použití:

Pelety ENplus A<sub>1</sub> jsou vhodné k použití ve všech spalovacích systémech uzpůsobených pro spalování pelet. Návod ke správnému používání pelet naleznete v každém manuálu dodávaném k spalovacímu systému. Při používání pelet je třeba dbát na to, aby se nedostaly do styku s vodou, která by je mohla znehodnotit! Proces spalování pelet je plně automatický,

stačí tedy pelety nasypat do násypky/zásobníku a o zbytek se již postarají peletová kamna/kotel. Díky automatizaci a systémem řízenému dávkování pelet a cirkulace vzduchu dochází k optimálnímu spalování při vysoké účinnosti pohybují se okolo 90%. Vysoká účinnost má vliv na šetření nákladů za vytápění.

**f) Cena:**

15kg PE balení	5,46 Kč.kg <sup>-1</sup>
Volně ložené	5,18 Kč.kg <sup>-1</sup>

**2. Dřevní pelety Standard** - Pavel Pokorný, Kolín (prodejce) =< Karel Kulda, Stará Huť (výrobce a dodavatel) – **Certifikát ENplus**

**a) Popis:** Dřevní pelety Standard vyrobené z pilin vznikajících zpracováním neodkorněného dřeva. Pelety lisujeme v prstencovém granulo-vacím lisu do válečků o průměru 6mm. Správným vysušením vstupní suroviny a jejím následným zpracováním peleta získává správné vlastnosti, jako je vysoká výhřevnost a mechanická stálost. Pelety odpovídají kvalitou normě ENplus A<sub>2</sub>.

**Zdroj:** <http://www.ekopelety.cz>



**Obr.13:** Dřevní pelety Standard

Pelety Standard zobrazené na obr.13 jsou vhodné především do kotlů, které mají spalovací komoru uzpůsobenou pro spalování méně kvalitních pelet. Většinou se jedná o kotle, které mají schopnost samočištění roštu.

Pelety Standard mají oproti peletám ENplus A<sub>1</sub> mírně vyšší obsah popela. Je tedy třeba častěji čistit kotel. Ostatní parametry jsou s peletami ENplus A<sub>1</sub> srovnatelné. Jedná se o ekonomičtější variantu pelet. Cena pelet Standard může být výrazně nižší a budoucí trend naznačuje, že se bude rozdíel dále zvyšovat. Při koupi kvalitního kotle není se spalováním těchto pelet žádný problém.

**b) Parametry:**

<i>Výhřevnost</i>	18,35 MJ.kg <sup>-1</sup>
<i>Popelnatost</i>	0,7%
<i>Obsah vody</i>	8,5%
<i>Délka pelet</i>	5 - 25mm
<i>Sypná hmotnost</i>	650kg.m <sup>-3</sup>

**c) Balení:**

**15kg PE sáčky:**

65 sáček na paletě = 975kg

vratná záloha na paletu 120x100 (100Kč/ks vč. DPH)

### **Pelety volně ložené:**

Zaváženo cisternou

### **BIG BAG:**

975kg pelet ve vaku

vratná záloha na paletu 120x100 (100Kč/ks vč. DPH)

vratná záloha na vak (200Kč/ks vč. DPH)

### **d) Materiál:**

Čisté piliny z neodkorněného smrkového dřeva.

### **e) Použití:**

Pelety Standard většinou nejsou vhodné ke spalování v teplovzdušných kamnech, která k tomu nemají uzpůsobený rošt. Jsou vhodné ke spalování v kotlích se samočisticím mechanismem roštu. Návod ke správnému používání pelet naleznete v každém manuálu dodávaném k spalovacímu systému.

Při používání pelet je třeba dbát na to, aby se nedostaly do styku s vodou, která by je mohla znehodnotit!

Proces spalování pelet je plně automatický, stačí tedy pelety nasypat do násypky/zásobníku a o zbytek se již postarají peletová kamna/kotel. Díky automatizaci a systémem řízenému dávkování pelet a cirkulace vzduchu dochází k optimálnímu spalování při vysoké účinnosti pohybují se okolo 90%. Vysoká účinnost má vliv na šetření nákladů za vytápění.

### **f) Cena:**

15 kg PE sáčky

5,23 Kč.kg<sup>-1</sup>

Volně ložené

4,94 Kč.kg<sup>-1</sup>

## **3. Dřevní pelety ENplus A<sub>1</sub> Ecovest – Krauer, Uhlířské Janovice (prodejce) =< Vestec, Uhlířské Janovice (výrobce a dodavatel) – Certifikát ENplus**

**a) Popis:** Pelety vznikají za vysokého tlaku na lisovacím ústrojí které je tvaruje do tvaru granulí o různém průměru.

Surovina ze které se pelety skládají je dřevní odpad, piliny zbavené kůry a nečistot po těžbě z lesa. Piliny jsou z měkkého dřeva smrku a borovice. Do pelet se nepřidávají žádná pojiva ani jiné příměsi. Pelety lisujeme o průměru 6 mm a délce cca 3 cm.

### **b) Parametry:**

*Výhřevnost*

18 MJ.kg<sup>-1</sup>

*Popelnatost*

do 0,5%

*Obsah vody*

do 10%

*Délka pelet*

6 – 30mm

*Sypká hmotnost*

620 kg.m<sup>-3</sup>

### **c) Balení:**

PE pytle 15kg

Big Bag

Volně ložené

#### d) Materiál:

Piliny jsou z měkkého dřeva smrku a borovice.

#### e) Použití:

Spalováním dřevních pelet se využívá obnovitelný zdroj kterým nezatěžujeme životní prostředí a nemá vliv na globální oteplování což je cílem EU v oblasti energetiky. Spalováním pelet nedochází ke zvyšování emisí skleníkových plynů CO<sub>2</sub>. Při spalování dochází k tvorbě minimálního množství popela který se dá použít jako hnojivo na rozdíl od paliv fosilních jako je uhlí. Vytápění peletami zajišťuje minimální nároky na obsluhu a maximální komfort oproti jiným tuhým palivům jako je kusové dřevo, uhlí, brikety.

#### f) Cena:

15kg PE sáčky

5,86 Kč.kg<sup>-1</sup>

#### 4. Palivo EKOVER (rostlinné pelety) – ZZN, Kolín (výrobce + prodejce) – Certifikát č. 100-019944 Palivo EKOVER

a) **Popis:** Rostlinné pelety EKOVER vyrobené z rostlinného odpadu obilovin (slupky, plevy). Pelety lisujeme v deskovém granulovacím lisu (kde se ještě před vstupem do lisu kropí vodou kvůli prašnosti => obr.14) do válečků o průměru 8mm. Odpovídají kvalitou kategorii S<sub>2</sub>. Pelety lisujeme o průměru 8 mm a délce převážně cca 3cm (dle nastavení nože). Hotové pelety jsou znázorněny na obr. 16.

#### b)

*Zdroj: Autor, 2015*



Obr. 14: Přiváděný materiál do deskového granulární lisu + voda

#### c) Parametry:

*Výhřevnost*

15,7 MJ.kg<sup>-1</sup>

*Popelnatost*

do 3%

*Obsah vody*

do 10%

*Délka pelet*

6-30mm

*Sypká hmotnost*

700kg.m<sup>-3</sup>

**d) Balení:**

Volně ložené

**e) Materiál:** Rostlinný odpad z obilovin (slupky, plevy znázorněné na obr. 15).

Zdroj: Autor, 2015



Obr. 15: Rostlinný odpad z obilovin (plevy, slupky)

**f) Použití:**

Slouží především jako palivo do spaloven k vytápění sídlišť, dále jsou přimíchávány k uhlí do elektrárny ve Velkých Chvaleticích nebo ke zlepšení výhřevnosti dřevní štěpky.

Zdroj: Autor, 2015



Obr. 16: Hotové pelety na pásovém dopravníku

**g) Cena:**

Volně ložené

270Kč .1q<sup>-1</sup> (100kg<sup>-1</sup>)



## 4.2 Metodika prvkových rozborů

### 4.2.1 Materiály a chemikálie

Byly pořízeny 4 vzorky pelet od různých výrobců. U každého z nich se zjišťovaly jejich základní vlastnosti (vlhkost, výhřevnost, obsahy, látek atd.). Výsledky byly následující:

1. **pelety - dřevní (A<sub>1</sub>):** počáteční vlhkost 7,42% hmot.
2. **pelety – řepka:** počáteční vlhkost 10,20% hmot.
3. **pelety – dřevní (Standard):** počáteční vlhkost 8,5% hmot.
4. **pelety – dřevní (A<sub>1</sub>, Ecovest):** počáteční vlhkost 7,46% hmot.

Kvůli zachování správné konzistence se vzorky suší v sušárně na ovoce proudem vzduchu o teplotě 60 ° C. Pelety se následně uloží do chladničky. Vlhkost uložených vzorků byla měřena pokaždé, když byly použity pro experiment. Průměrná hodnota se pohybovala cca 8,0% hmot.

Vzorky byly uloženy v uzavřené nádobě při teplotě 20 ° C. Jejich vlhkost byla měřena při prvním přijetí a potom každý týden kvůli stanovení změny obsahu vlhkosti v průběhu času. Pro měření vlhkosti byl vzorek rozdrcen a okamžitě zvážen.

Pro kalibraci analyzátorů byly dodány LECO přístroje. Pro kalibraci prchavé hořlaviny (VM) ve standardních 701 uhlí TGA s 40,4% hm. byl použit VM. CHN modul byl kalibrován s kyselinou ethylendiamintetraoctovou. S modul byl kalibrován za použití standardu uhlí s 1,16% hm. síry. Kalorimetr byl kalibrován s 1 g pelet z kyseliny benzoové.

### 4.2.2 Analýzy a výpočty

Pro stanovení hmotnosti výtěžku pelet byly vzorky rozdrceny na výrobu homogenního prášku. V důsledku toho byly analyzovány na vlhkost, těkavé látky, popel, elementární složení a výhřevnost. První tři parametry byly analyzovány v termogravimetrickém analyzátoru (LECO TGA 701). Teplotní program nejprve suší vzorky při teplotě 107 ° C do konstantní hmotnosti. Těkavé látky byly stanoveny pomocí atmosferického dusíku při teplotě 900 ° C po dobu 7 minut. V neposlední řadě byly vzorky spáleny v kyslíku při teplotě 550 ° C, znovu do konstantní hmotnosti kvůli zjištění obsahu popela. Každý vzorek pelet byl dvakrát analyzován.

Prvkové složení bylo analyzováno na přístroji LECO CHN628+S, s héliem jako nosným plynem k nalezení obsahu uhlíku (C), vodíku (H), dusíku (N) a síry (S). Analyzátor pracuje na základě analýzy spalin vzorků spalovaných v kyslíku. C, H a S se měří v infračervené absorpční buňce, oproti tomu se N měří v tepelné vodivosti. Pro stanovení C, H a N, byl 0,15 g vzorek zabalen do staniolu a spálen při teplotě 950 ° C. Vzorky modulu S (0,2 g) se nalijí do kelímku a spálí při teplotě 1350 ° C. Každý vzorek byl analyzován tak, aby vznikly alespoň tři hodnotná měření pro každý prvek.

Vyšší hodnota zahřívání byla měřena v isoperibol kalorimetru (LECO AC 600). Vzorky byly zatlačeny do pelet přibližně 0,7 g a analyzovány, aby se získaly alespoň dva spolehlivé výsledky. Vyšší výhřevnost (HHV) byla stanovena pomocí dodaného softwaru.

Všechny uváděné hodnoty jsou průměry hodnot pro sušinu. Výsledky analýzy byly převedeny na hodnoty sušiny dle ČSN EN ISO 29541.

Prvky (C, N, S) a popel byly přeměněny pomocí vzorce:

$$w_{Xd} = w_{Xa} \times \frac{100}{100 - w_{Ma}} \quad /1/$$

$w_{Xd}$  – základní obsah sušiny v hmotnostních %,  $w_{Xa}$  -. Hodnoty analytických vzorků, WMA - vlhkost v analytických vzorků. Vodík byl převeden za použití:

$$w_{Hd} = \left( w_{Ha} - \frac{w_{Ma}}{8.937} \right) \times \frac{100}{100 - w_{Ma}} \quad /2/$$

Obsah kyslíku se vypočte odečtením C, H, N a S elementární obsah a obsah popela, vše vztaženo na sušinu, ze 100%.

Nižší výhřevnost (SV), pak byla vypočtena podle ČSN ISO 1928 s použitím elementární výsledků analýzy:

$$LHV = \{HHV - 212w_{Hd} - 0.8 \times (w_{Od} + w_{Nd})\} \times (1 - 0.01M_T) - 24.43M_T \quad /3/$$

$M_T$  – přeměněný obsah vlhkosti na suchém základě, je nulový.

Všechny hodnoty výtěžnosti jsou vypočteny stejným způsobem. Jsou definovány jako hmotnostní výtěžek, jak je uvedeno v předchozí části, vynásobením podílem obsahu sušiny na základě každé jednotlivé látky v peletě. Energetický výnos je výnos výhřevnosti. Vzhledem k tomu, že karbonizace snižuje obsah H, výtěžek HHV by měl být vždy o něco nižší.

### 4.3 Metodika stechiometrie spalovacích procesů

Základem každého výpočtu tepelné práce spalovacích zařízení je prvkový rozbor spalovaného biopaliva (v tomto případě pelet). Prvkové složení paliva má vliv na veškeré stechiometrické výpočty, výpočty tepelných účinností a ztrát spalovacích zařízení a významně ovlivňuje tepelnou práci spalovacích zařízení. U tuhých biopaliv se pro zjištění prvkového složení používá tzv. elementární (prvková) analýza, kterou se zjišťuje procentuální hmotnostní podíl uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíku a veškeré vody v původním palivu. Nehořlavé látky paliv, tj. obsah popela a obsah veškeré vody, se určí spálením, resp. sušením příslušného vzorku. Prvkové rozborů jednotlivých paliv jsou stanoveny pro normální podmínky (teplota  $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  a tlak  $p = 101,325 \text{ kPa}$ ).

Stechiometrické výpočty spalovacích procesů doplňují charakteristiky paliva a jsou základem pro jakýkoliv tepelný výpočet. Jsou důležité zejména pro řešení celé řady problémů návrhové praxe, stejně jako pro kontrolu práce stávajících spalovacích zařízení. Při těchto výpočtech se stanoví:

- výhřevnost paliva;
- množství kyslíku (vzduchu) potřebného k dokonalému spalování paliva;
- množství a složení spalin;
- měrná hmotnost spalin;
- adiabatická, teoretická teplota.

### 4.3.1 Výpočty spotřeby vzduchu a množství spalin

Podle podmínek, které se vytvoří pro spalovací proces, rozeznáváme:

1. *Dokonalé spalování* je takové spalování, při němž nastane spálení všech hořlavých složek v palivu, takže ve vzniklých spalinách již nejsou hořlavé složky obsaženy.

Dokonalého spalování s teoretickým přebytkem vzduchu ( $L_{\min}$ ), které se dá vypočítat ze stechiometrických vztahů spalovacích rovnic, lze dosáhnout jen při zcela dokonalém promísení paliva se vzduchem a při ideálních spalovacích podmínkách. V praktickém provozu však je pro zajištění dokonalého spalování spotřeba vzduchu (kyslíku) větší než teoretická a závisí na druhu paliva, spalovacího zařízení, oblasti spalování (difúzní nebo kinetická) atd. Mluvíme pak o tzv. přebytku spalovacího vzduchu, který je tím menší, čím dokonaleji se palivo smísí se vzduchem. Poměr mezi skutečnou a teoretickou spotřebou vzduchu se nazývá součinitel přebytku vzduchu ( $n$ ) a rovná se:

$$n = \frac{L_{skut}}{L_{min}} = \frac{O_{skut}}{O_{min}} \doteq \frac{20,95}{20,95 - O_2} \doteq \frac{CO_2_{max}}{CO_2} \doteq 2,1 \quad /4/$$

Přbytek vzduchu je nutný, aby bylo zaručeno dokonalé spalování. Na druhé straně je však nutno mít na zřeteli škodlivost příliš velkého přebytku. Čím více vzduchu se spalování zúčastní, tím více tepla je odnášeno spalinami, klesá spalná teplota, součinitel využití paliva apod. Proto je nutno používat optimální přbytek vzduchu.

2. *Smíšené spalování* je spalování, při němž nenastane spálení všech hořlavých složek v palivu. To znamená, že ve vzniklých spalinách jsou obsaženy jak oxid uhličitý  $CO_2$ , tak oxid uhelnatý  $CO$ .

Výpočet spotřeby vzduchu a množství spalin je možno uskutečnit těmito způsoby:

- podle údajů elementární analýzy pomocí stechiometrických rovnic (analytický způsob);
- pomocí přibližných vzorců, odlišných pro různé druhy paliv (na základě výhřevnosti);
- grafickými metodami.

Pro spalování vybraných vzorků přichází v úvahu pouze první z uvedených způsobů, tedy na základě stechiometrických výpočtů.

Jako oksyličovadlo se dále uvažuje suchý vzduch o zjednodušeném složení:

- a) Objemově: 21 %  $O_2$ , 78,05 %  $N_2$ . Z tohoto složení lze vypočítat poměr kyslíku, dusíku a vzduchu ze vztahu:

$$O_2 : N_2 : vzduch = \frac{21}{21} : \frac{78,05}{21} : \frac{100}{21} = 1 : 3,716 : 4,76 \quad /5/$$

- b) Hmotnostně: 23,2 %  $O_2$ , 75,47 %  $N_2$ . Obdobně určíme poměr vztahem:



$$O_2 : N_2 : \text{vzduch} = \frac{23,2}{23,2} : \frac{75,47}{23,2} : \frac{100}{23,2} = 1 : 3,253 : 4,31 \quad /6/$$

Objemové a hmotnostní složení suchého vzduchu bez vodní páry, při zanedbání vzácných plynů, obsažených v nepatrných množstvích, je uvedeno v tabulce 7 a molekulové hmotnosti v tabulce 8.

**Tab. 7:** Objemové a hmotnostní složení suchého vzduchu

Plyn	Objemové složení (%)	Hmotnostní složení (%)
O <sub>2</sub>	21,000	23,200
N <sub>2</sub>	78,050	75,474
Ar	0,920	1,280
CO <sub>2</sub>	0,030	0,046

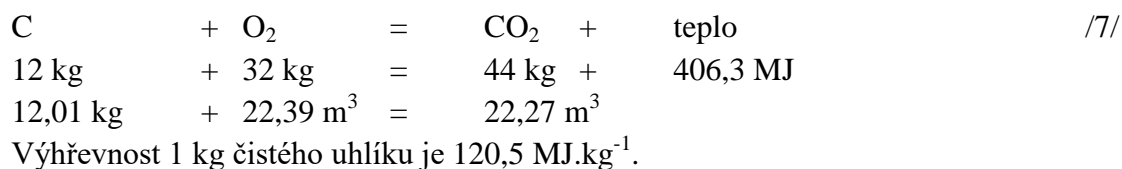
**Tab. 8:** Molekulové hmotnosti prvků v peletě

Prvek	Kilomol	
	Hmotnostní (kg)	Objemový (m <sup>3</sup> )
Vodík (H)	2,016	22,39
Uhlík (C)	12,01	22,39
Kyslík (O)	32,00	22,39
Síra (S)	32,06	22,39
Dusík (N)	28,02	22,39

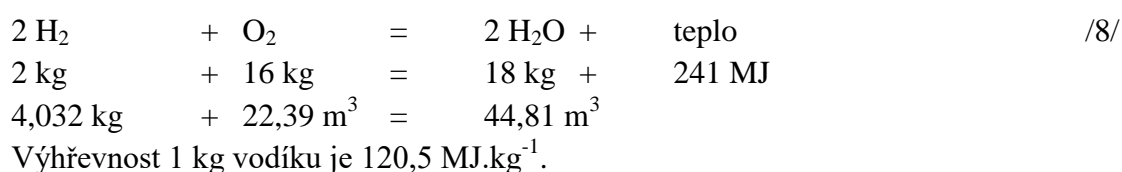
### 4.3.2 Spalování tuhých paliv

Použitím molekulových hmotností jednotlivých prvků lze vyjádřit vztahy pro oxidační reakce při spalování stechiometrickými rovnicemi:

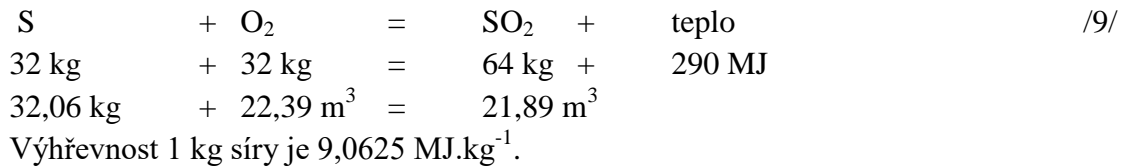
Spalování uhlíku na oxid uhličitý:



Spalování vodíku na vodní páru:



Spalování síry na oxid siřičitý:



Pro převod ostatních prvků a vlhkosti (vody) do plynné fáze platí:

Pro dusík:



Pro kyslík:



Pro vlhkost platí:



Všechny objemy a hmotnosti spalovacího vzduchu a spalin v rovnicích jsou udávány za tzv. normálních podmínek, tj. při teplotě  $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  a tlaku  $p = 101,325 \text{ kPa}$ .

## 1 Hmotnostní spalování

K uvedeným výpočtům se použily rovnice /8/, /11/ – /16/.

Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování:

$$O_{\min} = \frac{32}{12} \cdot C + \frac{32}{4} \cdot H + \frac{32}{32} \cdot S - \frac{32}{32} \cdot O \quad (\text{kg.kg}^{-1}), \quad /13/$$

Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování:

$$L_{\min} = O_{\min} \cdot \frac{100}{23,2} \quad (\text{kg.kg}^{-1}), \quad /14/$$

Skutečné množství vzduchu pro teoretické spalování:

$$L_{\text{skut}} = O_{\min} \cdot \frac{100}{23,2} \cdot n \quad (\text{kg.kg}^{-1}), \quad /15/$$

Teoretické hmotnostní množství suchých spalín:

$$m_{sp_{\min}}^s = \frac{44}{12} \cdot C + \frac{64}{32} \cdot S + N + 0,75474 \cdot L_{\min} \quad (\text{kg.kg}^{-1}), \quad /16/$$

kde: C, H, O, S, N, W jsou poměrná množství uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíku a veškeré vody v původním palivu ( $\text{kg.kg}^{-1}$ );  
n .. součinitel přebytku vzduchu (-).

Hmotnostní množství vlhkých spalín:

$$m_{sp}^v = m_{CO_2} + m_{SO_2} + m_{H_2O} + m_{N_2} + m_{O_2} + m_{Ar} \quad (\text{kg.kg}^{-1}). \quad /17/$$

Hmotnostní množství suchých spalín:

$$m_{sp}^s = m_{CO_2} + m_{SO_2} + m_{N_2} + m_{O_2} + m_{Ar} \quad (\text{kg.kg}^{-1}), \quad /18/$$

kde:  $m_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot C + 0,00046 \cdot L_{skut} \quad (\text{kg.kg}^{-1}), \quad /19/$

$$m_{SO_2} = \frac{64}{32} \cdot S \quad (\text{kg.kg}^{-1}), \quad /20/$$

$$m_{H_2O} = \frac{18}{2} \cdot H + W + (v-1) \cdot L_{skut} \quad (\text{kg.kg}^{-1}), \quad /21/$$

$$m_{N_2} = N + O_{\min} \cdot \frac{75,474}{23,2} \cdot n \quad (\text{kg.kg}^{-1}), \quad /22/$$

$$m_{O_2} = O_{\min} \cdot (n-1) \quad (\text{kg.kg}^{-1}), \quad /23/$$

$$m_{Ar} = 0,0128 \cdot L_{skut} \quad (\text{kg.kg}^{-1}). \quad /24/$$

Vyjádření jednotlivých složek spalín v %:

Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalínách:

$$CO_{2_{\max}} = \frac{\frac{44}{12} \cdot C}{m_{sp_{\min}}^s} \cdot 100 \quad (\%), \quad /25/$$

Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalínách:

$$SO_{2_{\max}} = \frac{\frac{64}{32} \cdot S}{m_{sp_{\min}}^s} \cdot 100 \quad (\%), \quad /26/$$

Hmotnostní koncentrace složek spalín ve vlhkých spalínách:

$$CO_2 = \frac{m_{CO_2}}{m_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%), \quad /27/$$

$$H_2O = \frac{m_{H_2O}}{m_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%), \quad /28/$$

$$SO_2 = \frac{m_{SO_2}}{m_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%), \quad /29/$$

$$N_2 = \frac{m_{N_2}}{m_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%), \quad /30/$$

$$O_2 = \frac{m_{O_2}}{m_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%). \quad /31/$$

## 2 Objemové spalování (hodnoty reálných molárních objemů plynů)

K výpočtům byly použity rovnice /7/, /11/ – /16/. V praxi se pro přepočty používají hodnoty reálných molárních objemů plynů.

Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování:

$$O_{\min} = \frac{22,39}{12,01} \cdot C + \frac{22,39}{4,032} \cdot H + \frac{22,39}{32,06} \cdot S - \frac{22,39}{31,99} \cdot O \quad (m^3 \cdot kg^{-1}), \quad /32/$$

Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování:

$$L_{\min} = O_{\min} \cdot \frac{100}{21} \quad (m^3 \cdot kg^{-1}), \quad /33/$$

Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování:

$$L_{skut} = O_{\min} \cdot \frac{100}{21} \cdot n \quad (m^3 \cdot kg^{-1}), \quad /34/$$

Teoretické objemové množství suchých spalín:

$$v_{sp_{\min}}^s = \frac{22,27}{12,01} \cdot C + \frac{21,89}{32,06} \cdot S + \frac{22,40}{28,013} \cdot N + 0,7805 \cdot L_{\min} \quad (m^3 \cdot kg^{-1}), \quad /35/$$

kde: C, H, O, S, N, W jsou poměrná množství uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíku a veškeré vody v původním palivu ( $kg \cdot kg^{-1}$ );

n.. součinitel přebytku vzduchu (-).

Objemové množství vlhkých spalín:

$$v_{sp}^v = v_{CO_2} + v_{SO_2} + v_{H_2O} + v_{N_2} + v_{O_2} + v_{Ar} \quad (m^3 \cdot kg^{-1}). \quad /36/$$

Objemové množství suchých spalín:

$$v_{sp}^s = v_{CO_2} + v_{SO_2} + v_{N_2} + v_{O_2} + v_{Ar} \quad (m^3 \cdot kg^{-1}), \quad /37/$$

$$\text{kde: } v_{CO_2} = \frac{22,27}{12,01} \cdot C + 0,0003 \cdot L_{skut} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad /38/$$

$$v_{SO_2} = \frac{21,89}{32,06} \cdot S \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad /39/$$

$$v_{H_2O} = \frac{44,81}{4,032} \cdot H + \frac{22,41}{18,015} \cdot W + (v-1) \cdot L_{skut} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad /40/$$

$$v_{N_2} = \frac{22,40}{28,013} \cdot N + O_{\min} \cdot \frac{78,05}{21} \cdot n \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad /41/$$

$$v_{O_2} = O_{\min} \cdot (n-1) \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad /42/$$

$$v_{Ar} = 0,0092 \cdot L_{skut} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}). \quad /43/$$

Vyjádření jednotlivých složek spalin v %:

Teoretická objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách:

$$CO_{2\max} = \frac{\frac{22,27}{12,01} \cdot C}{v_{sp\min}^s} \cdot 100 \quad (\%). \quad /44/$$

Teoretická objemová koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalinách:

$$SO_{2\max} = \frac{\frac{21,89}{32,06} \cdot S}{v_{sp\min}^s} \cdot 100 \quad (\%). \quad /45/$$

Objemová koncentrace složek spalin ve vlhkých spalinách:

$$CO_2 = \frac{v_{CO_2}}{v_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%), \quad /46/$$

$$H_2O = \frac{v_{H_2O}}{v_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%), \quad /47/$$

$$SO_2 = \frac{v_{SO_2}}{v_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%), \quad /48/$$

$$N_2 = \frac{v_{N_2}}{v_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%), \quad /49/$$

$$O_2 = \frac{v_{O_2}}{v_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%), \quad /50/$$

### 4.3.3 Výsledné hodnoty vybraných tuhých vzorků biopaliv

V následující kapitole jsou analyzována tuhá biopaliva, která jsou použita pro další hodnocení ve spalovacích zařízeních. Podle technické specifikace jsou následující vzorky rozděleny na dřevní paliva a bylinnou biomasu. Seznam použitých vzorků je uveden v tabulce 9.

**Tab. 9:** Analyzovaná dřevní paliva a bylinná biomasa (specifikace ČSN 15234-1)

Dřevní paliva	Bylinná biomasa
Dřevní pelety – smrkové piliny (Ø 6 mm)	Rostlinné pelety – rostlinný odpad z obilovin – řepka + slupky + plevy (Ø 8 mm)
Dřevní pelety – smrkové piliny (Ø 6 mm)	
Dřevní pelety – smrkové a borovicové piliny (Ø 6 mm)	

Veškeré uvedené výsledné hodnoty prvkové a stechiometrické analýzy jsou uvedeny jak v tabulkách, tak i v grafech v následujícím postupu, který se opakuje pro každý druh původního vzorku:

1. Prvková analýza původního vzorku. Pro porovnání s referenčními palivy je stanovena prvková analýza pro čtyři referenční paliva v původním stavu.
2. Stechiometrická analýza původního vzorku za normálních podmínek a referenčního obsahu kyslíku ve spalínách.
3. Stanovení výhřevnosti vzorků v závislosti na přepočtové vodě v palivu za normálních podmínek. Pro vyjádření výhřevnosti v různých stavech přepočtové vody v palivu je původní vzorek přepočten na sušinu a následně přepočítán až na 50% obsah veškeré vody.
4. Určení hmotnostního toku původního paliva (vzorku) do spalovacího prostoru v závislosti na tepelném výkonu spalovacího zařízení – požadovaná hodnota.

Hmotnostní tok vzorku podle tepelného výkonu spalovacího zařízení na pevné palivo se stanoví podle ČSN 07 0240 následovně:

$$\dot{m}_{pv} = \frac{P_k \cdot 100}{q_n \cdot \eta} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}), \quad /51/$$

kde:  $\dot{m}_{pv}$  je hmotnostní tok paliva přiváděného do spalovacího prostoru ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ );

$P_k$  .. jmenovitý tepelný výkon kotle (W);

$q_n$  .. výhřevnost paliva ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ );

$\eta$  .. účinnost spalovacího zařízení (%).

Pro modelování těchto vztahů je zvolena účinnost spalovacího zařízení na 90 %. Jmenovitý tepelný výkon je odstupňován od 10 kW do 50 kW (viz příloha 7). Výhřevnost paliva ve výpočtech je dána výhřevností původního vzorku, tj. při odběru vzorku v původním stavu.

5. Grafické vyjádření oxidu uhličitého v závislosti na množství kyslíku ve spalinách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním vzorku za normálních podmínek.

Pro sestavení této grafické závislosti je nutné především znát prvkové složení daného vzorku paliva. Prvkové složení vzorků se dosadí do stechiometrické analýzy. Stechiometrická analýza se určí pro součinitel přebytku vzduchu v rozsahu 1 až 6. Výsledné hodnoty se vynesou do grafu, kde na osu x se vynesou obsah kyslíku ve spalinách ( $O_2$ ) a na osu y se vynesou obsah oxidu uhličitého ( $CO_2$ ). Výsledná křivka vyjadřuje součinitel přebytku vzduchu.

Při takto stanovené závislosti se graficky zjistí, kolik procent oxidu uhličitého při spalování vzorku obsahují spaliny a při jak velkém součinitele přebytku vzduchu. Pro praktické použití je potřebné znát skutečnou hodnotu obsahu kyslíku ( $O_2$ ) ve spalinách v měřeném spalovacím zařízení. Na vodorovnou osu x v grafu se vynesou svislá přímka naměřeného obsahu kyslíku ve spalinách v objemových procentech, která protíná přímku součinitele přebytku vzduchu. V místě protnutí přímky součinitele přebytku vzduchu se vynesou vodorovná přímka, která protíná osu y s vyznačenou koncentrací oxidu uhličitého ve spalinách. K optimálnímu spalování dřevní a rostlinné biomasy by mělo docházet při hodnotě součinitele přebytku vzduchu  $n = 2,1$  (tj. při 11% obsahu kyslíku ve spalinách).

Všechny objemy a hmotnosti spalovacího vzduchu a spalin jsou udávány za tzv. normálních podmínek, tj. při teplotě  $t = 0\text{ }^\circ\text{C}$  a tlaku  $p = 101,325\text{ kPa}$  a na referenční obsah kyslíku ve spalinách  $O_f = 11\text{ \%}$ .

#### **Výsledné hodnoty prvkové a stechiometrické analýzy pro vzorky z dřevních a rostlinných pelet:**

- prvková analýza původních vzorků: tabulka 10;
- stechiometrická analýza původních vzorků za normálních podmínek a referenčního obsahu kyslíku ve spalinách  $O_f = 11\text{ \%}$  uvádí tabulka 11;
- závislost výhřevnosti paliva ( $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) na přepočtové vodě v palivu ( $\text{\% hm.}$ ) za normálních podmínek pro dřevní a rostlinné pelety uvádí tabulka 12;
- hmotnostní tok původního paliva (vzorku) do spalovacího prostoru v závislosti na tepelném výkonu spalovacího zařízení – požadovaná hodnota pro dřevní a rostlinné pelety uvádí tabulka 13;
- závislost oxidu uhličitého na množství kyslíku ve spalinách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním vzorku za normálních podmínek pro dřevní a rostlinné pelety uvádí obr. 17, 18, 19 a 20.

Tab. 10: Analýza vzorků – původní stav

Vzorek	Analytický stav = původní								
	Hustota	Vlhkost	Popel	C	H (vč. vody)	N	S	Spalné teplo za konst. obj.	Výhřevnost za konst. tlaku
<b>Jednotky</b>	kg.m <sup>-3</sup>	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	MJ.kg <sup>-1</sup>	MJ.kg <sup>-1</sup>
<b>Pelety řepka – všechny vzorky</b>	1219,1	10,20	4,39	35,60	6,54	1,68	0,14	16,50	15,07
SO		0,33	1,71	12,16	0,23	0,207	0,014	0,266	
RSO		3,23%	39,00%	34,16%	3,57%	12,36%	10,23%	1,61%	
PDM	3	8	8	6	6	6	4	6	
<b>Pelety řepka tmavé</b>	1276,3	9,85	5,53	40,54	6,33	1,51	0,13	16,43	15,05
SO		0,15	0,24	0,35	0,07	0,057	0,015	0,03	
RSO		1,53%	4,34%	0,85%	1,10%	3,77%	11,14%	0,16%	
PDM	3	3	3	3	3	3	2	3	
<b>Pelety řepka světlé</b>	1161,9	10,45	2,35	40,67	6,75	1,85	0,15	16,57	15,09
SO		0,23	0,24	0,15	0,01	0,137	0,005	0,402	
RSO		2,17%	10,22%	0,36%	0,18%	7,42%	3,01%	2,43%	
PDM	3	3	3	3	3	3	2	3	
<b>Pelety piliny</b>	1204,5	8,50	0,32	46,28	6,27	0,08	0,01	18,78	17,41
SO		0,19	0,03	0,13	0,08	0,033	0,000	0,527	
RSO		2,24%	8,33%	0,29%	1,22%	43,46%	7,56%	2,81%	
PDM	3	5	5	3	3	3	2	3	
<b>Pelety dřevní ecovest</b>	1166,4	7,46	0,45	46,94	6,28	0,08	0,01	18,91	17,54
SO		0,27	0,20	0,11	0,04	0,019	0,003	0,08	
RSO		3,68%	44,55%	0,24%	0,66%	24,82%	38,75%	0,40%	
PDM	3	5	5	3	3	3	2	3	
<b>Pelety dřevní kulda</b>	1213,5	7,42	0,38	47,35	6,26	0,08	0,01	18,85	17,48
SO		0,21	0,03	0,27	0,03	0,008	0,000	0,021	
RSO		2,87%	8,11%	0,56%	0,55%	9,45%	1,25%	0,11%	
PDM	3	5	5	3	3	3	2	3	

Výhřevnost dle

ISO 1928

N, S pod intervalem kalibrace (kromě řepkových pelet - hodnoty nutno brát spíše orientačně)

SO – standardní odchylka RSO – relativní stand. odchylka PDM – počet dobrých měření

**Zdroj:** Vlastní měření



**Tab. 11:** Stechiometrická analýza původních vzorků dřevních a rostlinných pelet za normálních podmínek a referenčního obsahu kyslíku ve spalínách  $O_r = 11\%$

		Pelety dřevní (A1) Kulda (Ø6 mm)	Rostlinné pelety řepka (Ø 8 mm)	Pelety dřevní (standard) piliny (Ø6 mm)	Pelety dřevní (A1) Ecovest (Ø6mm)
<b>Hmotnostní spalování</b>					
$O_{min}$	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování ( $kg.kg^{-1}$ )	1,38	1,06	1,35	1,37
$L_{min}$	Teoret. množství vzduchu pro dokonalé spalování ( $kg.kg^{-1}$ )	5,94	4,56	5,82	5,89
$L_{skut}$	Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování ( $kg.kg^{-1}$ )	12,48	9,57	12,22	12,37
$n$	Součinitel přebytku vzduchu (-)	2,10	2,10	2,10	2,10
$m_{sp}^v$	Hmotnostní množství vlhkých spalín ( $kg.kg^{-1}$ )	13,83	10,80	13,57	13,72
$m_{sp}^s$	Hmotnostní množství suchých spalín ( $kg.kg^{-1}$ )	12,69	9,72	12,43	12,58
$m_{spmin}^s$	Teoretické hmotnostní množství suchých spalín ( $kg.kg^{-1}$ )	8,22	6,76	8,09	8,17
$m_{CO_2}$	Hmotnostní množství $CO_2$ ( $kg.kg^{-1}$ )	1,74	1,31	1,70	1,73
$m_{SO_2}$	Hmotnostní množství $SO_2$ ( $kg.kg^{-1}$ )	0,00	0,00	0,00	0,00
$m_{H_2O}$	Hmotnostní množství $H_2O$ ( $kg.kg^{-1}$ )	1,14	1,07	1,14	1,13
$m_{N_2}$	Hmotnostní množství $N_2$ ( $kg.kg^{-1}$ )	9,42	7,24	9,23	9,34
$m_{O_2}$	Hmotnostní množství $O_2$ ( $kg.kg^{-1}$ )	1,52	1,16	1,49	1,50
	<b>Vyjádření jednotlivých složek spalín v %</b>				
$CO_{2max}$	Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalínách (% hm.)	21,12	19,31	20,97	21,07
$SO_{2max}$	Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalínách	0,00	0,00	0,00	0,00

		Pelety dřevní (A1) Kulda (Ø6 mm)	Rostlinné pelety řepka (Ø 8 mm)	Pelety dřevní (standard) piliny (Ø6 mm)	Pelety dřevní (A1) Ecovest (Ø6mm)
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý (% hm.)	12,60	12,13	12,55	12,59
SO <sub>2</sub>	Oxid siřičitý (% hm.)	0,00	0,00	0,00	0,00
H <sub>2</sub> O	Voda (% hm.)	8,22	9,94	8,39	8,27
N <sub>2</sub>	Dusík (% hm.)	68,10	67,04	68,00	68,06
O <sub>2</sub>	Kyslík (% hm.)	10,96	10,77	10,95	10,96
<b>Objemové spalování</b>					
O <sub>min</sub>	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> )	0,96	0,74	0,94	0,95
L <sub>min</sub>	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> )	4,58	3,51	4,48	4,54
L <sub>skut</sub>	Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> )	9,61	7,36	9,41	9,53
n	Součinitel přebytku vzduchu (–)	2,10	2,10	2,10	2,10
v <sup>v</sup> <sub>sp</sub>	Objemové množství vlhkých spalin (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> )	10,70	8,45	10,51	10,62
v <sup>s</sup> <sub>sp</sub>	Objemové množství suchých spalin (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> )	9,53	7,30	9,33	9,44
v <sup>s</sup> <sub>spmin</sub>	Teoretické objemové množství suchých spalin (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> )	4,45	3,41	4,36	4,41
v <sub>CO2</sub>	Objemové množství CO <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> )	0,88	0,66	0,86	0,87
v <sub>SO2</sub>	Objemové množství SO <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> )	0,00	0,00	0,00	0,00
v <sub>H2O</sub>	Objemové množství H <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> )	1,17	1,15	1,18	1,17
v <sub>N2</sub>	Objemové množství N <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> )	7,50	5,76	7,35	7,44

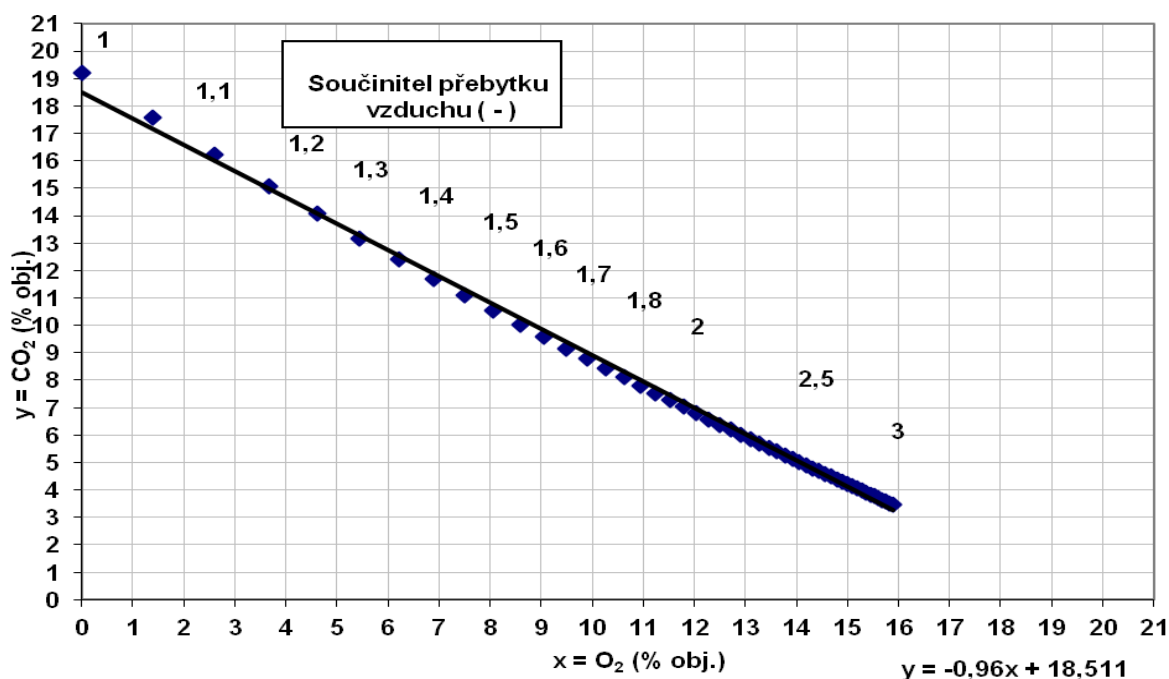
		Pelety dřevní (A1) Kulda (Ø6 mm)	Rostlinné pelety řepka (Ø 8 mm)	Pelety dřevní (standard) piliny (Ø6 mm)	Pelety dřevní (A1) Ecovest (Ø6mm)
$V_{O_2}$	Objemové množství $O_2$ ( $m^3 \cdot kg^{-1}$ )	1,06	0,81	1,04	1,05
<b>Vyjádření jednotlivých složek spalin v %</b>					
$CO_{2max}$	Teoretická objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách (% obj.)	19,34	19,36	19,69	19,73
$SO_{2max}$	Teoretická objemová koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalinách	0,00	0,00	0,00	0,00
$CO_2$	Oxid uhličitéý (% obj.)	8,06	7,84	8,19	8,23
$SO_2$	Oxid siřičitéý (% obj.)	0,00	0,00	0,00	0,00
$H_2O$	Voda (% obj.)	10,88	13,59	11,22	11,04
$N_2$	Dusík (% obj.)	70,32	68,18	69,91	70,04
$O_2$	Kyslík (% obj.)	9,91	2,47	9,85	9,87

**Tab. 12:** Závislost výhřevnosti paliva ( $MJ \cdot kg^{-1}$ ) na přepočtové vodě v palivu (% hm.) za normálních podmínek pro dřevěné a rostlinné pelety

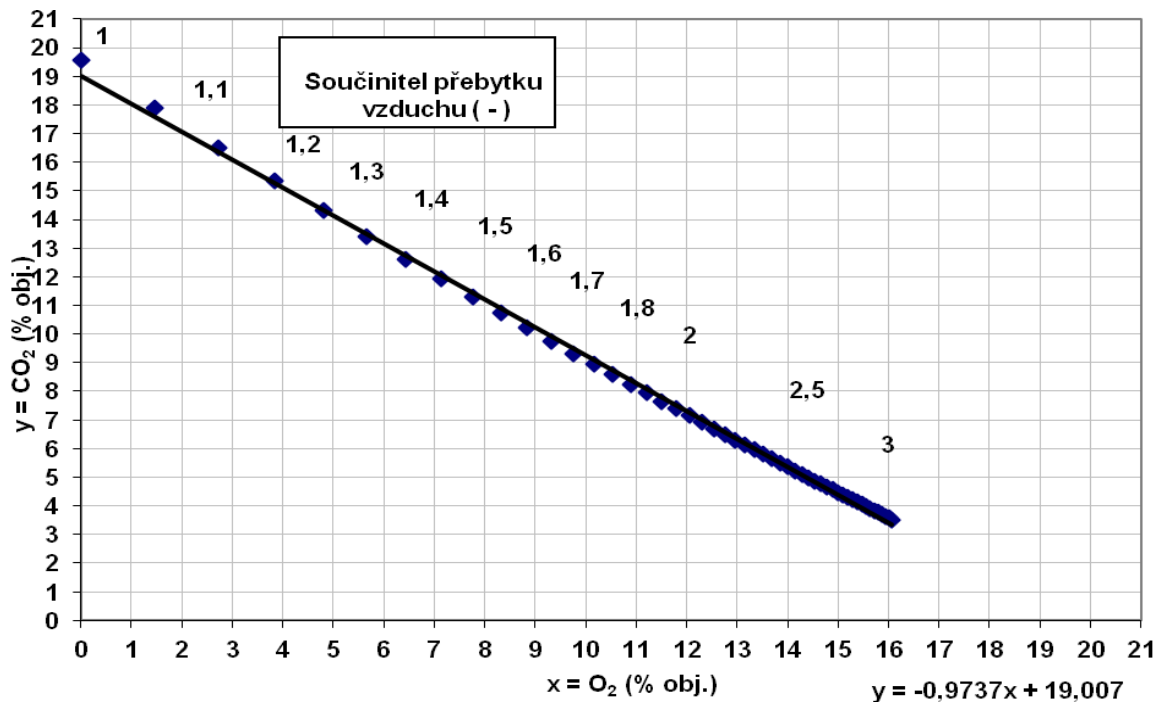
Výhřevnost paliva ( $MJ \cdot kg^{-1}$ )	Přepočtová voda v palivu (% hm.)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	Dřevní pelety (A1) (Ø6 mm)		7,52	7,14	6,76	6,39	6,01	5,63	5,26	4,88	4,51	4,13
Rostlinné pelety řepka (Ø 8 mm)		7,60	7,22	6,84	6,46	6,08	5,70	5,32	4,94	4,56	4,18	3,80
Pelety dřevní (standard) piliny (Ø6 mm)		7,57	7,19	6,81	6,44	6,06	5,88	5,30	4,92	4,54	4,16	3,78
Pelety dřevní (A1) Ecovest (Ø6mm)		7,51	7,14	6,76	6,38	6,01	5,63	5,26	4,88	4,50	4,13	3,75

**Tab. 13:** Hmotnostní tok původního paliva (vzorku) do spalovacího prostoru v závislosti na tepelném výkonu spalovacího zařízení – požadovaná hodnota pro dřevní a rostlinné pelety

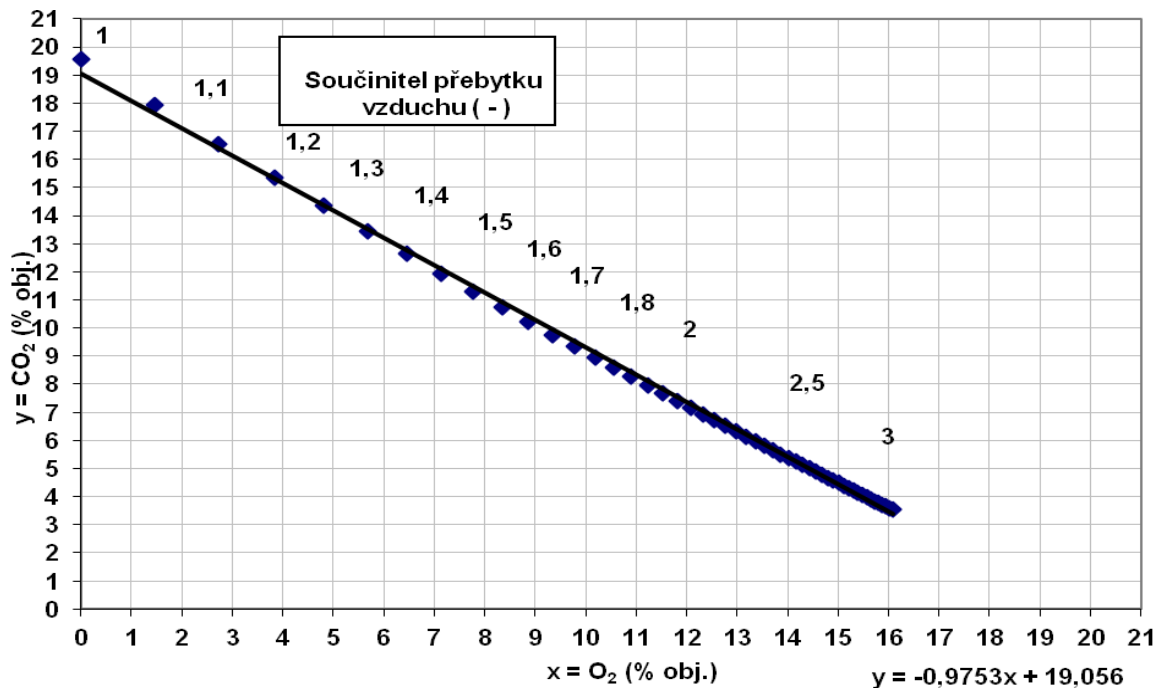
Hmotnostní tok paliva přiváděného do spalovacího prostoru (kg.h <sup>-1</sup> )	Tepelný výkon (kW)	10	20	30	40	50
	Dřevní pelety (A1) (Ø 6 mm)	5,745	11,490	17,236	22,981	28,726
	Rostlinné pelety řepka (Ø 8 mm)	5,853	11,707	17,561	23,415	29,269
	Pelety dřevní (standard) Piliny (Ø6 mm)	5,769	11,538	17,307	23,076	28,845
	Pelety dřevní (A1) Ecovest (Ø6mm)	5,749	11,499	17,249	22,999	28,748



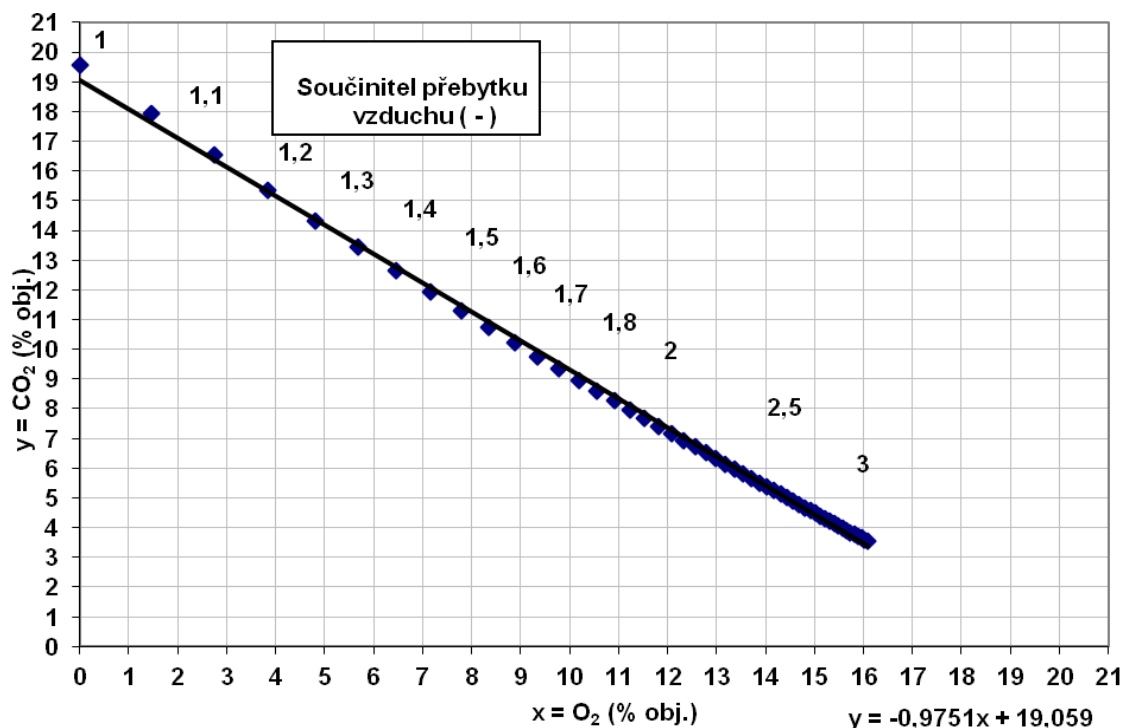
**Obr. 17:** Závislost oxidu uhličitého na množství kyslíku ve spalinách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním vzorku za normálních podmínek pro pelety Ekover – řepka + slupky + plevy (Ø 8 mm)



**Obr. 18:** Závislost oxidu uhličitého na množství kyslíku ve spalinách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním vzorku za normálních podmínek pro **pelety (standard)** – smrkové piliny (Ø8mm)



**Obr. 19:** Závislost oxidu uhličitého na množství kyslíku ve spalinách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním vzorku za normálních podmínek pro **pelety A<sub>1</sub> (Ecovest)** – smrkové a borovicové piliny (Ø6mm)



**Obr. 20:** Závislost oxidu uhličitého na množství kyslíku ve spalinách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním vzorku za normálních podmínek pro pelety (A1) – Kulda - smrkové piliny (Ø6mm)

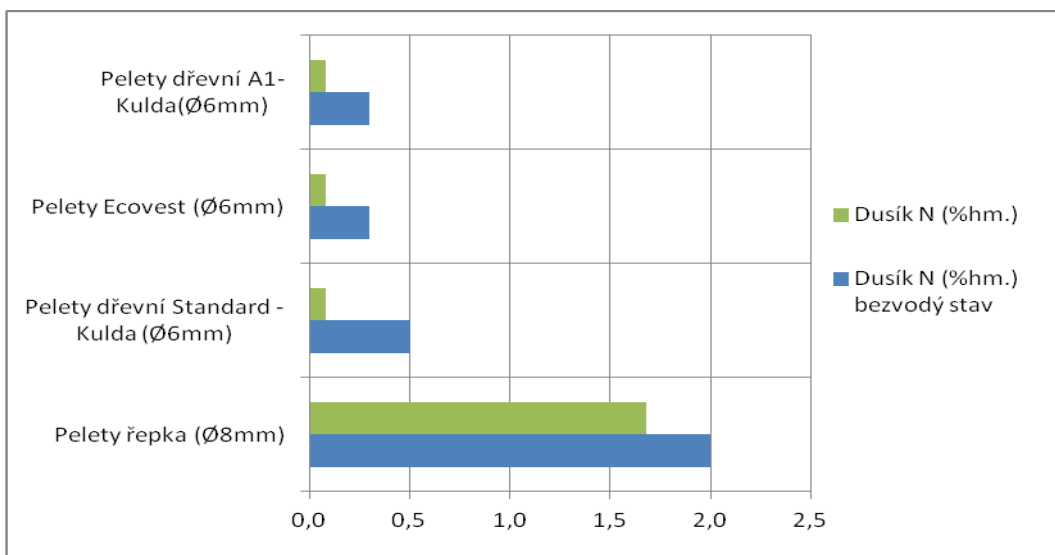
Pomocné tabulky obsahující množství látek ve vzorku, výpočty hmotnostních podílů, znázornění graficky přepočtu výhřevnosti paliva a stechiometrické spalovací procesy viz příloha 1, 2, 3 a 4.

#### 4.3.4 Vyhodnocení prvkové a stechiometrické analýzy vybrané biomasy

Z výsledků prvkových rozborů vybraných vzorků biopaliv je nejvíce určující z hlediska emisních koncentrací množství síry, chlóru a dusíku v tuhých biopalivech. U posuzovaných biopaliv je patrný vysoký nárůst emisí dusíku, neboť samotné energetické rostliny vykazují vyšší množství dusíku v palivu (obr. 17) oproti fosilním palivům. Zejména zvýšený obsah tohoto prvku omezuje využití těchto paliv. V posuzovaných biopalivech dosahovaly velkých koncentrací dusíku hlavně pelety z řepky. V tabulce 14 je uvedena specifikace vlastností podle normy ČSN 17225-2 pro dusík. Podle této tabulky jsou jednotlivé vzorky specifikovány podle množství dusíku na obr. 21.

**Tab. 14:** Specifikace vlastností biopaliv podle normy ČSN 17225-2 a 17225-6 pro dusík (% (m/m) v bezvodém stavu)

N 0.3	≤ 0,3 %	Obsah dusíku je normativní pouze pro chemicky ošetřenou biomasu.
N 0.5	≤ 0,5 %	
N 1.0	≤ 1,0 %	
N 2.0	≤ 2,0 %	

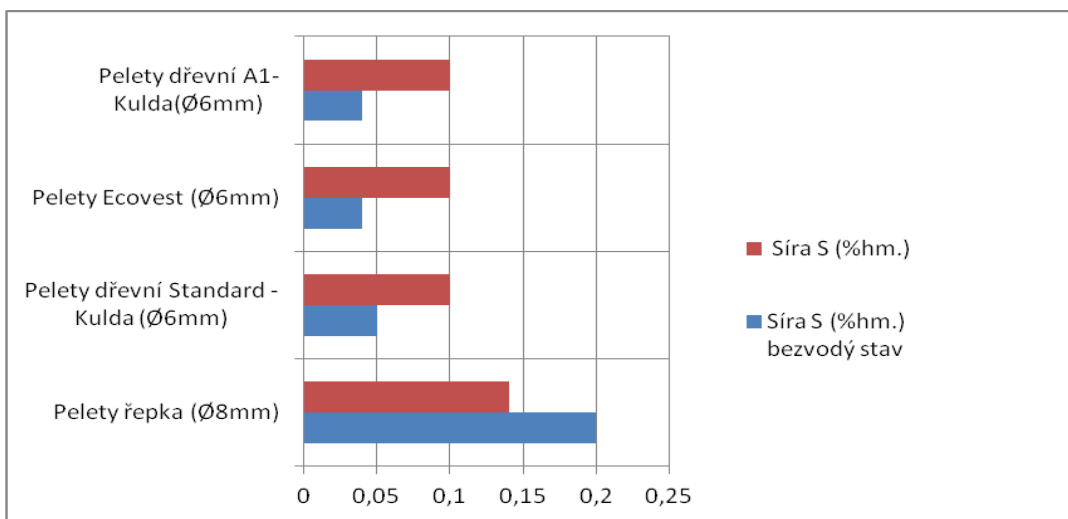


**Obr. 21:** Obsah dusíku v původním stavu vzorku v % hm. a obsah dusíku v bezvodém stavu v % hm.

Z výsledků měření je patrné, že vžitá představa o zvýšeném množství dusíku v biopalivech je zcela nepřesná. Vyšší množství dusíku obsahuje posuzovaná rostlinná biomasa v porovnání s dřevní biomasou.

**Tab. 15:** Specifikace vlastností biopaliv podle normy ČSN 17225-2 a 17225-6 pro síru (% (m/m) v bezvodém stavu)

<b>S 0.04</b>	≤ 0,04 %	Obsah síry je normativní pouze pro chemicky ošetřenou biomasu nebo jsou-li použita síru obsahující aditiva.
<b>S 0.05</b>	≤ 0,05 %	
<b>S 0.20</b>	≤ 0,20 %	

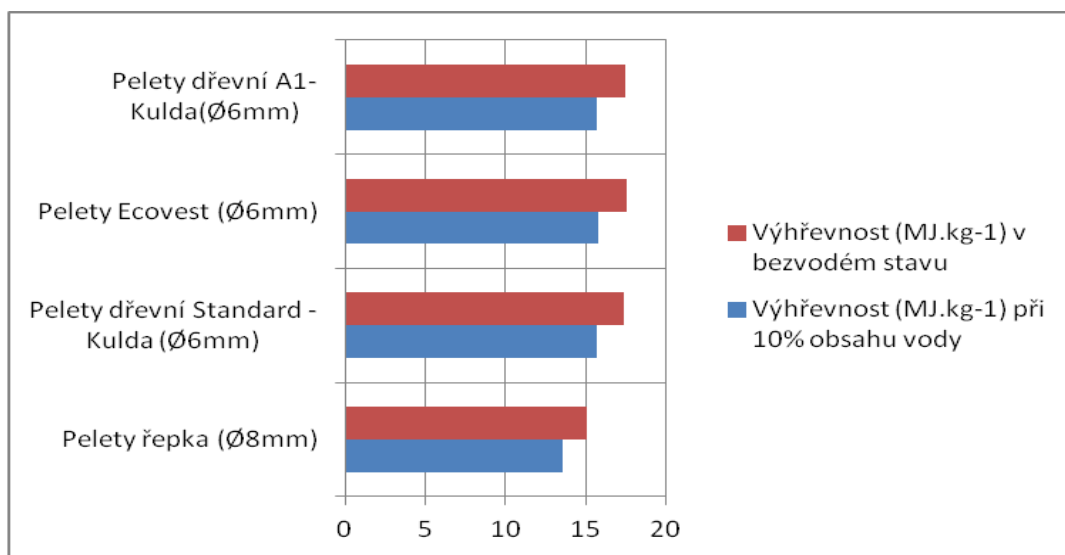


**Obr. 22:** Obsah síry v původním stavu vzorku v % hm. a obsah síry v bezvodém stavu v % hm.

Síra odchází rovněž z větší části během spalování do plynné fáze jako  $\text{SO}_2$  nebo  $\text{SO}_3$ . Emise síry u tepelných zařízení na využití pevných paliv z obnovitelných zdrojů nepředstavují, co se týče limitních hodnot, zpravidla žádný problém, což potvrzují vybrané vzorky viz obr. 18. Výjimkou jsou pelety z řepky, které v daném stavu vzorku dosahovaly

koncentrace síry až 0,20 % hm. Tato zvýšená koncentrace síry ve vzorku může být způsobena znečištěním dané lokality emisemi oxidů síry. Průměrné hodnoty koncentrací síry v palivu u rostlinné i dřevní biomasy se v posuzovaných vzorcích pohybují 0,10 % hm. v původním stavu.

V tabulce 15 je uvedena specifikace vlastností podle normy ČSN 17225-2 a 17225-6 pro síru a poté v obr. 22 jsou jednotlivé vzorky specifikovány podle množství síry.



**Obr. 23:** Výhřevnost vzorků biopaliv v bezvodém stavu v MJ.kg<sup>-1</sup> a výhřevnost přepočtovaná na 10 % hm. obsah vody v MJ.kg<sup>-1</sup>

Rozhodujícím faktorem koncentrace síry v biopalivu může být její korozivní chování. Ostatní hodnoty prvkového rozboru splňují optimální parametry pro použití těchto vzorků biopaliv ve spalovacích zařízeních.

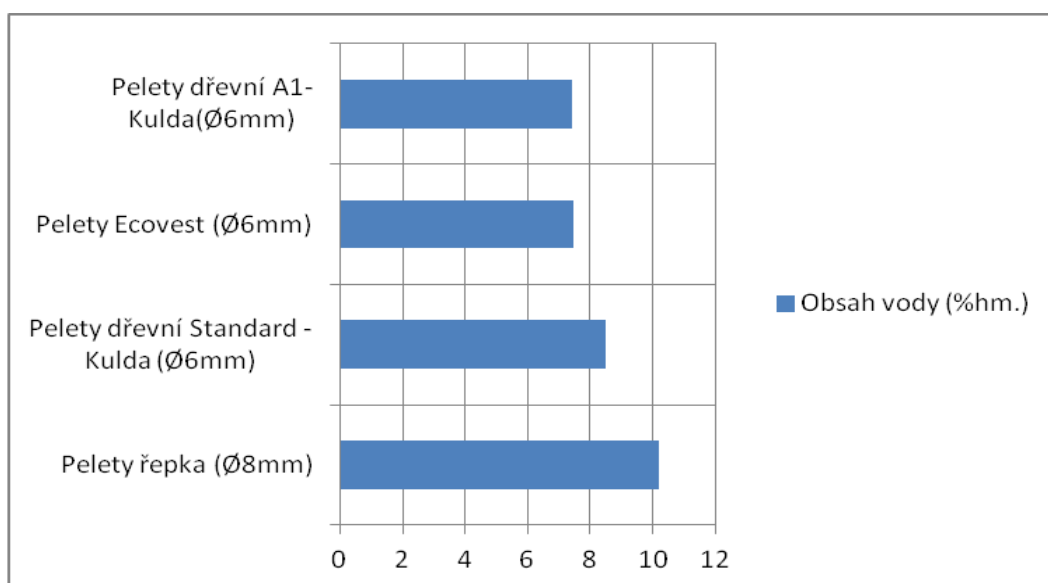
Nejvíce určující pro termické využití tuhých biopaliv je obsah vody a popele v palivu. Rozsah veškeré vody obsažené ve vzorcích je dost nízký, což má pozitivní přínos ve výhřevnosti biopaliv. Obsah popele ve vzorcích je rovněž nízký, jak je vidět z prvkových rozborů ve vybraných biopalivech. Největší množství popele je stanoveno u vzorků z vojtěšky. Množství vody a popele významně ovlivňuje tepelné vlastnosti posuzovaných tuhých biopaliv a následně ovlivňuje jak výběr, tak i nastavení spalovacího zařízení.

Výhřevnost jednotlivých tuhých biopaliv je souhrnně uvedena na obrázku 23. Výhřevnost pro porovnání vzorků je jednak stanovena v bezvodném stavu a následovně přepočítána na 10% obsah vody ve vzorku.



**Tab. 16:** Specifikace vlastností biopaliv podle normy ČSN 17225-2 a 17225-6 pro vodu a popel v % (m/m)

<b>Voda</b> (% (m/m), původní)	
M 10	≤ 10 %
M 12	≤ 12 %
M 15	≤ 15 %
<b>Popel</b> (% (m/m) v bezvodém stavu)	
A 0.7	≤ 0,7 %
A 1.2	≤ 1,2 %
A 2.0	≤ 2,0 %
A 6.0	≤ 6,0 %



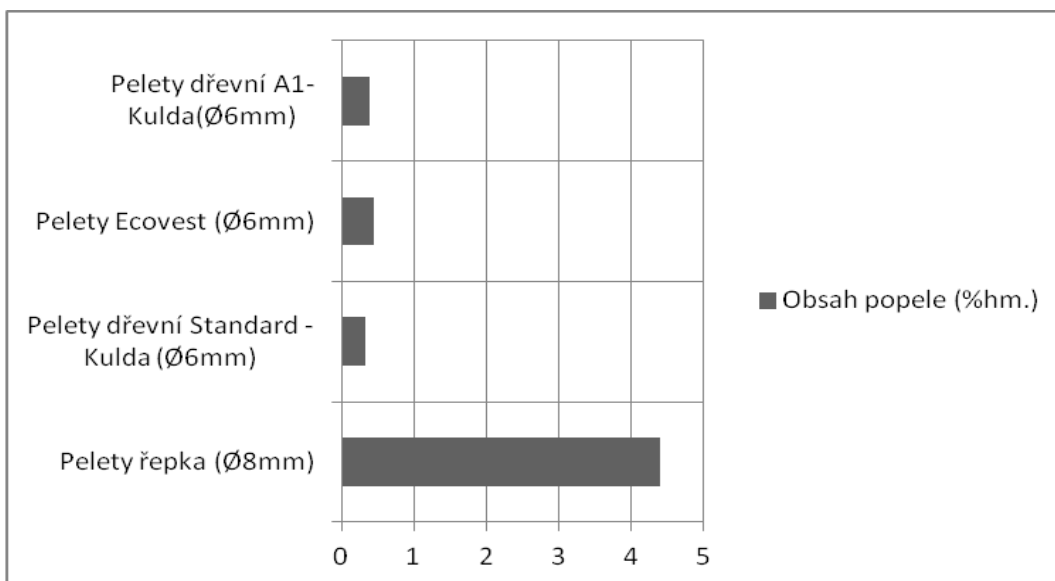
**Obr. 24:** Obsah vody v původní stavu vzorku v % hm.

Průměrná výhřevnost analyzovaných původních vzorků dřevní biomasy se pohybuje okolo  $17,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$  při 7,8% hm. podílu vody a 0,38% hm. podílu popele v původním stavu. U vzorku rostlinné biomasy se pohybuje výhřevnost okolo  $15 \text{ MJ.kg}^{-1}$  při 10% podílu vody a 4% hm. podílu popele v původním stavu.

Vlhkost ovlivňuje chování při spalování a objem spalin produkovaných na jednotku energie. Obecně platí, že obsah vlhkosti dřevní štěpky nemá přesáhnout 30 % hm. Vyšší problémy nastávají při dlouhodobějším skladování vlhkých biopaliv, samozáhřevu štěpky s vlhkostí nad 27 % hm. spojeným se ztrátou sušiny a energetické hodnoty a vzniku plísní.

V tabulce 16 jsou uvedeny specifikace vlastností podle normy ČSN 17225-2 a 17225-6 pro vodu a popel v palivu. Na obrázcích 24 a 25 jsou jednotlivé vzorky specifikovány podle množství vody a podle množství popele.

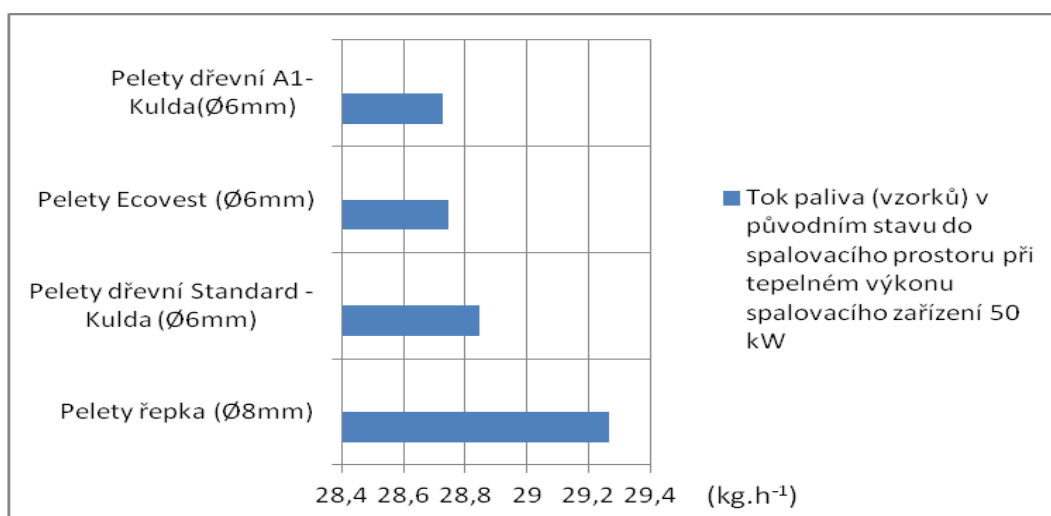
Větší množství popele, jak vyplývá z výsledků měření (obr. 25), má rostlinná biomasa oproti dřevní biomase, což může vyvolat zvětšený požadavek na odvod tuhých zbytků po spalování a zvýšené množství tuhých emisí.



**Obr. 25:** Obsah popele ve vzorku v % hm.

Z dalších vlastností posuzovaných vzorků biopaliv je podíl prchavé a neprchavé hořlaviny u dřevní a rostlinné biomasy. V posuzovaných vzorcích ze dřevní biomasy je průměrný podíl prchavé hořlaviny 84,8 % hm. V původním stavu mají vzorky z rostlinné biomasy průměrný podíl prchavé hořlaviny 83,9 % hm. Z toho vyplývá, že rostlinná biomasa má obdobný obsah hořlaviny jako dřevní biomasa.

Další významný ukazatel využití biomasy pro výrobu energie je hmotnostní tok původních tuhých biopaliv do spalovacího prostoru při jmenovitém tepelném výkonu spalovacího zařízení. Na obrázku 26 je znázorněn hmotnostní tok paliva (spotřeba paliva) do spalovacího zařízení o jmenovitém tepelném výkonu 50 kW (pro menší spalovací zařízení) pro jednotlivé vzorky v původním stavu. Pro hmotnostní tok odpovídá přímá úměra s výhřevností vzorku – čím menší výhřevnost, tím větší hmotnostní tok paliva do spalovacího prostoru. Výsledné hodnoty jsou pouze orientační, při vlastním energetickém využití by se měly zohlednit i tepelné ztráty spalovacího zařízení atd.



**Obr. 26** Porovnání hmotnostních toků vzorků v původním stavu do spalovacího prostoru při tepelném výkonu spalovacího zařízení 50kW

Výsledné hodnoty ze stechiometrické analýzy ukazují na velmi dobré tepelně-emisní parametry posuzovaných vzorků. Jak vyplývá ze stechiometrie posuzovaných paliv, parametry výhřevnosti, obsahu vody a hustoty energie ovlivňují výběr a návrh spalovacího zařízení. Koncentrace N (dusíku) a S (síry) v posuzovaných vzorcích, jak potvrzují prováděné rozbory vzorků, je poměrně velmi široká.

Kyslík je problematická součást paliva, protože váže vodík a částečně i uhlík na hydroxidy, vodu a oxidy, zejména dusíku (ve formě aminů a proteinů v palivu) a chlóru, spočívá v jejich interakci s konverzním zařízením, zvláště pak tepelným. Takto stanovené hodnoty stechiometrické analýzy slouží pro další nezbytné výpočty tepelných účinností a tepelných ztrát spalovacích zařízení, ale hlavně slouží ke kontrole a optimalizaci spalovacího zařízení.

Pro každý analyzovaný vzorek tuhého biopaliva je stanovena grafická závislost oxidu uhličitého v závislosti na obsahu kyslíku ve spalínách. Pro takto určené závislosti oxidu uhličitého na množství kyslíku přivedeného do spalovacího prostoru, s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním vzorku za normálních podmínek, je vyjádřena lineární regresní rovnice:

$$y_{CO_2} = -A \cdot x_{O_2} + B \quad (\% \text{ obj.}) \quad /52/$$

kde:  $y_{CO_2}$  .. oxid uhličitý ve spalínách (% obj.);

$x_{O_2}$  .. naměřená koncentrace kyslíku ve spalínách (% obj.);

A .. tabulková hodnota pro vybraný vzorek (viz. tab. 17);

B .. tabulková hodnota pro vybraný vzorek (viz. tab. 17).

Tabulková hodnota A je určena regresní rovnicí na základě grafického vyjádření oxidu uhličitého v závislosti na kyslíku ve spalínách (viz obr. 23-26).

Tabulková hodnota B je určena ze stechiometrických závislostí a vyjadřuje objemovou koncentraci oxidu uhličitého ve vlhkých spalínách za dokonalého spalování při  $n = 1$  (viz obr. 23-26).

Koncentraci kyslíku ve spalínách lze stanovit několika způsoby. Jednou z možností je metoda na principu magnetomechanickém anebo na principu termomagnetickém (kyslík má ze všech plynů největší kladnou magnetickou susceptibilitu a na rozdíl od většiny plynů je tedy kyslík látka paramagnetická). Z dalších možností pro stanovení koncentrace kyslíku je použití senzorů pracujících na principu elektrochemickém (přijímání, resp. odevzdávání elektronů). Početným zástupcem potenciometrie s tuhým elektrolytem je tzv. Lambda – senzor. Lambda – senzor kyslíku se využívá především pro měření zbytkového kyslíku ve výfukových plynech atd.

Při takto stanovené grafické závislosti je určeno, kolik procent oxidu uhličitého spaliny obsahují při spalování daného vzorku. Pro praktické použití je potřebné znát skutečnou hodnotu obsahu kyslíku ve spalínách na měřeném místě. K optimálnímu spalování dřevních paliv a rostlinné biomasy by mělo docházet při hodnotě součinitele přebytku vzduchu  $n = 2,1$  (tj. při 11% obsahu kyslíku ve spalínách).

Pro orientační stanovení součinitele přebytku vzduchu  $n$ , na základě naměřené koncentrace kyslíku ve spalínách, lze použít rovnici:

$$n = \frac{20,95}{20,95 - O_2} (-),$$

/53/

kde: 20,95 je objemové množství kyslíku (O<sub>2</sub>) v suchém vzduchu (% obj.);

O<sub>2</sub> obsah kyslíku v suchých spalínách (% obj.).

Takto vyjádřené grafické závislosti slouží pro rychlé nastavení množství spalovacího vzduchu přiváděného do spalovacího prostoru.

**Tab. 17:** Hodnoty A a B pro vybrané vzorky paliv

Vzorek	A	B
<b>Pelety EKOVER – řepka (Ø8 mm)</b>	-0,96	18,511
<b>Pelety (standard) – piliny (Ø6 mm)</b>	-0,9737	19,007
<b>Pelety dřevní (A<sub>1</sub>) – Ecovest (Ø6 mm)</b>	-0,9753	19,056
<b>Pelety dřevní (A<sub>1</sub>) – Kulda (Ø6mm)</b>	-0,9751	19,059

## 4.4 Výběrové řízení peletovacího lisu

Výběrové řízení zvažuje dva podnikatelské subjekty, které se rozhodly investovat do výrobní technologie na výrobu ekologicky šetrného paliva – pelet. Vzhledem k tomu, že lze vyrábět pelety jak z dřevní, tak i z rostlinné hmoty, byly záměrně vybrány subjekty, kdy se každý z nich bude soustředit pouze na jeden druh pelet.

Jako příklad je použito porovnání investice do nákupu výrobní technologie, tj. peletovacího lisu (granulátoru) od dvou různých značek na výrobu dřevních a rostlinných pelet. Při výběru optimálního řešení je výše investice pouze jedním z mnoha dalších kritérií. Z tohoto důvodu nejsou porovnávány jen investiční náklady, jež jsou u obou druhů výroby rozdílné, ale také provozní náklady či předpokládané tržby z prodeje ekologického paliva. Cílem ekonomických výpočtů je především určit výnosnost investice a dobu návratnosti vložených finančních prostředků. Ze zjištěných údajů posléze vyhodnotit, která technologie je z výše uvedených ekonomických ukazatelů výhodnější.

Pro zajištění věrohodných informací byly osloveny 2 firmy: 1. Firma je soukromý podnikatel zabývající se pouze výrobou a distribucí pelet. 2. Firma je akciová společnost zabývající se nákupem, úpravou, skladováním a prodejem rostlinných komodit, tzn. prodej pelet má jako vedlejší příjem. Získaná vstupní data charakterizují daný typ výroby, ale zároveň jsou pouze modelovými variantami vyhodnocujícími danou investici.

#### 4.4.1 Technické aspekty využití peletovacího lisu

Při výrobě pelet se využívá speciální výrobní technologie, tj. peletovací lis. Jedná se o technologické zařízení, ve kterém se ze sypké dřevní nebo rostlinné hmoty pod vysokým tlakem za určité teploty lisují dřevní nebo rostlinné pelety (viz kapitola 4.6 Výroba dřevních pelet). V tabulce 18 vyjmenovány základní parametry obou lisů.

Tab. 18 : Základní parametry lisů

Parametr	Jednotka	Lis na dřevní pelety (Gama Pardubice)	Lis na rostlinné pelety (Soma Engineering Lanškroun)
Kapacita peletovací linky	[t.rok <sup>-1</sup> ]	5000	1600
Vstupní materiál	–	Dřevní odpad (piliny)	Rostlinný odpad (slupky, plevy)
Výkon	[kg.hod <sup>-1</sup> ]	1000	1000-2000
Provozní spotřeba elektrické E	[kW.hod <sup>-1</sup> ]	100	120
Spotřeba užitkové vody	[litr.hod <sup>-1</sup> ]	60	70
Cena	[Kč]	847 000	800 000
Servisní náklady (náhradní díly)	[Kč]	190 000	110 000
Doba provozu	[měsíce)	12	10-12
Počet pracovníků na směnu	[osoba]	1	1

Zdroj: *Autor*

#### 4.4.2 Vyhodnocení výběrového řízení

Pro účely výběrového řízení byly zvoleny následující vstupní parametry, které byly všechny postupně ohodnoceny známkami jako ve škole: 1 – nejlepší, 5 - nejhorší V následující tabulce 19 je uvedeno srovnání výše uvedených peletizačních lisů.

Kritéria pro výběr peletizačního lisu jsou následující:

1. Výkon
2. Kapacita peletovací linky
3. Cena pořízení
4. Servisní náklady
5. Spotřeba energií

Hodnotily se peletizační lisy s podobným výkonem od firem: Gama Pardubice, Soma Engineering Lanškroun. Jako lepší paletizační lis bude vyhodnocen ten lis, který bude mít nižší aritmetický průměr všech známek.

**Tab. 19 :** *Výběrové řízení na peletizační lis*

Hodnotící kritérium	Lis na dřevní pelety (Gama Pardubice)	Lis na rostlinné pelety (Soma Engineering Lanškroun)
Výkon	2	1
Kapacita peletovací linky	1	4
Cena pořízení	2	1
Servisní náklady	3	2
Spotřeba energií	1	3
<b>Aritmetický průměr známek</b>	<b>1,8</b>	<b>2,2</b>

Zdroj: *Autor*

Z výsledků tabulky je patrné, že dle zvolených hodnoticích kritérií, se jeví jako lepší varianta lis na dřevní pelety od Gamy Pardubice. Paradoxně lis na rostlinné pelety od Somy Engineering Lanškroun měl lepší hodnocení ve 3 kritériích (výkon, cena, servisní náklady) oproti dvěma na straně vítěze (kapacita a spotřeba), ale za to naprosto klíčových pro zpětnou návratnost investice.

## 4.5 Ekonomické hodnocení efektivnosti investice

Jestliže chceme objektivně posoudit efektivnost investice neboli ekonomickou návratnost, je třeba znát výnosově – nákladovou charakteristiku pro daný provoz peletovacího lisu, ze kterého určíme celkové roční výnosy a náklady, jejichž rozdílem získáme čistý zisk (včetně odečtení daní a úroků). Z finančních toků generovaných navrhovanou investicí jsou vypočteny ukazatele čisté současné hodnoty investice, vnitřní výnosové procento a doba návratnosti investice.

#### 4.5.1 Vstupní parametry ekonomických ukazatelů

V následující tabulce 20 je znázorněna ekonomická bilance jednotlivých parametrů pro granulární zařízení na výrobu dřevních a rostlinných pelet.

Tab. 20 :*Ekonomická bilance dřevních a rostlinných pelet*

Parametr	Jednotka	Lis Dřevní pelety Soma Engineering Lanškroun	Lis Rostlinné pelety Gama Pardubice
Investice do peletovacího lisu	[Kč]	847 000	800 000
Doba životnosti	[rok]	15	15
Kapacita výroby pelet	[t.h <sup>-1</sup> ]	0,9 - 1,2	1 - 2
Roční dodávka pelet do prodejní sítě	[t.rok <sup>-1</sup> ]	4000	2200
Prodejní cena pelet	[Kč.t <sup>-1</sup> ]	5800	2700
Náklady na vstupní suroviny	[Kč.t <sup>-1</sup> ]	900	400
Meziroční nárůst výnosů	[%]	3	2
Meziroční nárůst nákladů	[%]	1,5	1,5
Dotace	[%]	nežádali	nežádali

Zdroj: *Autor*

#### 4.5.2 Provozní výnosy

Roční výnosem se rozumí výnos celého projektu za jeden rok. Klíčovou složku zde zahrnují přirozeně výnosy z prodeje vyrobených pelet. V následující tabulce 21 jsou zobrazeny roční tržby za prodané množství pelet dle typu. Samozřejmě je třeba počítat se změnami roční míry inflace.

Tab. 21 : *Výnosy dřevních a rostlinných pelet za rok*

Parametr	Jednotka	Dřevní pelety	Rostlinné pelety
Množství prodaných pelet	[t.rok <sup>-1</sup> ]	4320	2200
Prodejní cena pelet	[Kč.t <sup>-1</sup> ]	5800	2700
Celkové výnosy	[Kč.rok <sup>-1</sup> ]	<b>25 056 000</b>	<b>12 540 000</b>

Zdroj: *Autor*

### 4.5.3 Provozní náklady

Roční provozní náklady jsou provozní náklady celého projektu za jeden rok. Změna ročních provozních nákladů jsou procenta, o která se roční provozní náklady mění v dalších letech. Provozní náklady souvisejí s provozem zařízení a s výrobou pelet. Jedná se především o následující náklady: • mzdové náklady pracovníků peletovacího stroje včetně příslušenství, • spotřební náklady, které představují náklady na palivo, energie a jiné (např. náhradní díly), • ostatní náklady, které představují režijní náklady (např. pojištění), úroky z poskytnutého úvěru, atd. V následujících tabulkách 22 a 23 jsou uvedeny provozní náklady na 1 tunu vyrobených dřevních a rostlinných pelet za rok a celkové provozní náklady za stejné období doplněné o výpočty.

Tab. 22 : Provozní náklady na výrobu 1t (bez energií)

Parametr	Jednotka	Dřevní pelety (piliny)	Rostlinné pelety (slupky, plevy, řepka)
Náklady na vstupní suroviny	[Kč.t <sup>-1</sup> ]	900	400
Provozní náklady lisu	[Kč.rok <sup>-1</sup> ]	2100	900
Provozní náklady celkem	[Kč.rok <sup>-1</sup> ]	3000	1900

Zdroj: Autor

Náklady na energie - byly vypočítány pomocí hodinové sazby za elektřinu (3,5 Kč/kW.h<sup>-1</sup>) vynásobenou výkonem daného lisu krát přibližný počet provozních hodin (u rostlinných pelet i spotřeba vody).

Náklady na roční mzdu zaměstnance vynásobením měsíční mzdy dvanácti.

Náklady na dopravu materiálu – předpokládaná spotřeba paliva nákladního vozu vynásobená cenou pohonných hmot za období 1 roku.

Náklady na pojištění lisu – dané znaleckým posudkem pojistného odborníka.

Servisní náklady – výměna dílů dvakrát do roka.

Provozní náklady lisu – výměna a doplnění konzervačních látek.

Tab. 23 : Celkové provozní náklady za rok

Parametr	Jednotka	Dřevní pelety	Rostlinné pelety
Náklady na energie	[Kč.kWh <sup>-1</sup> ]	1 260 000	577 500
Náklady na roční mzdu zaměstnance	[Kč]	240 000	240 000
Náklady na dopravu materiálu	[Kč]	250 000	140 000
Náklady na pojištění lisu	[Kč]	45 000	30 000
Servisní náklady (náhradní díly)	[Kč.rok <sup>-1</sup> ]	190 000	110 000
Provozní náklady lisu	[Kč.t <sup>-1</sup> ]	1200	900
Celkové provozní náklady	[Kč.rok <sup>-1</sup> ]	<b>1 986 200</b>	<b>1 098 400</b>

Zdroj: Autor



#### 4.5.4 Ekonomická a investiční analýza

Z výše vypočítaných výnosů a nákladů lze určit provozní zisk, který ale musí být u každého subjektu snížen odlišnou daní. Prvnímu subjektu musí být odečtena daň z příjmů fyzických osob v hodnotě 15%, naproti tomu subjektu zabývající se rostlinnými peletami daň z příjmů právnických osob v hodnotě 19%. Znázornění celkových ekonomických analýz v tabulkách 24 a 25.

**Tab. 24 :** Celková ekonomická analýza výnosů a nákladů

<b>Dřevní pelety</b>	
Celkové roční výnosy	25 056 000 Kč
Celkové roční náklady	1 986 200 Kč
Provozní zisk	23 069 800 Kč
<b>Čistý provozní zisk (-15%)</b>	<b>19 609 330 Kč</b>

**Zdroj:** Autor

**Tab. 25 :** Celková ekonomická analýza výnosů a nákladů

<b>Rostlinné pelety</b>	
Celkové roční výnosy	12 540 000 Kč
Celkové roční náklady	1 098 400 Kč
Provozní zisk	11 441 600 Kč
<b>Čistý provozní zisk (-19%)</b>	<b>9 267 696 Kč</b>

**Zdroj:** Autor

Jedním z tradičních kritérií hodnocení investičních projektů je propočet:

- Čisté současné hodnoty* (NPV - Net Present Value). Pakliže je čistá současná hodnota kladná (peněžní příjmy převyšují kapitálové výdaje), potom není důvod (za předpokladu dostatečného množství volných peněžních prostředků) danou investici neuskutečnit. Pakliže je čistá současná hodnota záporná, potom se nevyplatí danou investici realizovat. NPV vychází z peněžních toků tzv. cash-flow (CF) generovaných danou investicí po dobu životnosti zařízení, v tomto případě se jedná o 15 let. Peněžní

tok v jednotlivých letech vyjadřuje rozdíl výnosů a nákladů (bez odpisů) diskontovaný diskontní sazbou, která je pro tento případ stanovena na úrovni 3 %. Výše této sazby v sobě zahrnuje inflaci a riziko změny cen vstupů zejména ceny elektrické energie a pohonných hmot, které lze z hlediska budoucnosti jen těžko odhadovat. (Strouhal, 2006)

Vzorec pro výpočet NPV:

$$NPV = \sum_0^t \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad /54/$$

kde  $r$  reprezentuje diskontní sazbu a  $t$  je počet let (zdroj). Výše čisté současné hodnoty investice pro lis na dřevní pelety je určena na úrovni 1 540 586 Kč a pro rostlinné pelety na 990 690 Kč (přehled výpočtů v tab. 26 a 27).

- b) *Vnitřního výnosového procenta* ( Internal Rate of Return - IRR), které udává relativní výnos (rentabilitu), kterou projekt během svého životního cyklu poskytuje.

Vypočítáme ho dle vztahu:

$$\sum_t \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0, \quad /55/$$

Hodnota vnitřního výnosového procenta byla určena ve výši 22% pro lis na dřevní pelety a 17% pro rostlinné.

- c) *Doby návratnosti* (DN) - doba (počet let), za kterou peněžní příjmy z investice vyrovnají počáteční kapitálový výdaj na investici. V případě investice do tohoto projektu vychází doba návratnosti v případě lisu na dřevní pelety na 5 let a v případě lisu na rostlinné pelety na 6 let, což se jeví s ohledem na předpokládanou dobu využívání technického zařízení jako velice dobré zhodnocení investice.

Diskontní sazba 3%

**Tab. 26 :** Výpočet ukazatelů do investice lisu

<b>Lis na dřevní pelety (Gama Pardubice)</b>			
<b>Rok</b>	<b>Cash-flow</b>	<b>Diskontované CF</b>	<b>Kumulativní DCF</b>
0	-847 000	-847 000	-847 000
1	200 000	194 175	-652 825
2	200 000	188 519	-464 306
3	200 000	183 028	-281 278
4	200 000	177 697	-103 581
5	200 000	172 522	68 941
6	200 000	167 497	236 438
7	200 000	162 618	399 056
8	200 000	157 882	556 938
9	200 000	153 283	710 221
10	200 000	148 819	859 040
11	200 000	144 484	1 003 524
12	200 000	140 276	1 143 800
13	200 000	136 190	1 279 990
14	200 000	132 224	1 412 214
15	200 000	128 372	1 540 586
<b>Součet</b>	<b>2 153 000</b>	<b>1 540 586</b>	

Zdroj: Autor

$$\check{C}SH = -847\,000 / (1+0,03)^0 + 194\,175 / (1+0,03)^1 + \dots + 128\,372 / (1+0,03)^{15}$$

$$\check{C}SH = 1\,540\,586 \text{ Kč}$$

$$0 = -847\,000 / (1+VVP)^0 + 194\,175 / (1+VVP)^1 + \dots + 128\,372 / (1+VVP)^{15}$$

$$VVP = 22\%$$

DN= 5 let

Diskontní sazba 3%

Tab. 27 : Výpočet ukazatelů do investice lisu

Lis na rostlinné pelety (Soma Engeneering Lanškroun)			
Rok	Cash-flow	Diskontované CF	Kumulativní DCF
0	-800 000	-800 000	-800 000
1	150 000	145 631	-654 369
2	150 000	141 389	-512 980
3	150 000	137 271	-375 709
4	150 000	133 273	-242 436
5	150 000	129 391	-113 045
6	150 000	125 623	12 578
7	150 000	121 964	134 542
8	150 000	118 411	252 953
9	150 000	114 963	367 916
10	150 000	111 614	479 530
11	150 000	108 363	587 893
12	150 000	105 207	693 100
13	150 000	102 143	795 243
14	150 000	99 168	894 411
15	150 000	96 279	990 690
<b>Součet</b>	<b>1 450 000</b>	<b>990 690</b>	

Zdroj: Autor

$$\check{C}SH = -800\,000 / (1+0,03)^0 + 145\,631 / (1+0,03)^1 + \dots + 96\,279 / (1+0,03)^{15}$$

$$\check{C}SH = 990\,690 \text{ Kč}$$

$$0 = -800\,000 / (1+VVP)^0 + 145\,631 / (1+VVP)^1 + \dots + 96\,279 / (1+VVP)^{15}$$

$$VVP = 17\%$$

DN= 6 let

Z výše uvedené ekonomické analýzy jednoznačně vyplývá, že navrhovaná investice do technologického zařízení vykazuje velice dobré předpoklady pro její realizaci a následné zhodnocení. Doba návratnosti u obou lisů se pohybuje v rozmezí 5-6 let při dané diskontní sazbě 3%, což s ohledem na předpokládanou životnost 15 let technického zařízení dává relativně velký prostor pro vytváření poměrně velkých finančních zdrojů, které mohou být v budoucnu využity například pro vylepšení celkové technologické linky na výrobu pelet (např. rychlejší pásový či šnekový dopravník), což bude mít pozitivní dopad v podobě menších nákladů na vstupní energie a zvýšení výkonu peletizační linky.

## 5. Diskuse a závěry:

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout neoptimálnější řešení technologické linky na výrobu pelet z biomasy se zaměřením na granulaci lis. Před návrhem inovace byla popsána a definována biomasa jako vstupní materiál do výrobního procesu pelet a zároveň jako obnovitelný zdroj energie. Poté následoval legislativní popis platných zákonů a norem vydaných Ministerstvem životního prostředí se zaměřením na ochranu ovzduší, emisní limity a stanovení požadavků na kvalitu paliva pro stacionární zdroje z hlediska ochrany životního prostředí celkově.

Před vlastním zpracováním vzorků pelet v praktické části této práce bylo nutné se s tímto pojmem nejdříve podrobně seznámit prostřednictvím samotné technologie výroby dřevních pelet od prvotního příjmu vstupní suroviny až po finální zabalený produkt určený k prodeji. Rozlišit na jaké druhy a podle kterých jakostních znaků (normy, certifikáty, třídy kvality) se toto „palivo budoucnosti“ nejen u nás v ČR ale i po celé Evropě rozlišuje a především prodává, aby měl kupující zaručeno, že jím kupované pelety odpovídají normám kvality a byly dodány odpovídajícím způsobem. Nedílnou součástí této kapitoly práce muselo být představení technologických zařízení pro samotné spalování pelet.

Vyjmenování a stručné popsání jednotlivých druhů zařízení a určení nezbytných kritérií, které každý rozumný zákazník požaduje (např. vysoká životnost, provozní spolehlivost, snadná obsluha a údržba, přijatelná cena atd.) plus nejčastější využití pelet v současnosti. Z dostupných studií vyplývá, že nejperspektivnější variantou je varianta, která uvažuje pomocí pelet vytápět a ohřívat užitkovou vodu v obci.

V praktické části této diplomové práce byly nejdříve obecně zpracovány informace o pořízených 4 vzorcích pelet od výrobců a prodejců (popis, parametry, balení, materiál, použití, cena), které byly následně doplněny podrobnými výsledky laboratorních testů (zhotovených v prostorách České zemědělské univerzity) zabývající se stechiometrickými charakteristikami, analýzami a výpočty, jenž byly posléze graficky zpracovány pomocí tabulek a grafů pro lepší představu dané problematiky. Pomocí elementární analýzy byly zkoumány procentuální podíly uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíku a veškeré vody v jednotlivých vzorcích pelet včetně nehořlavých látek (popel).

Závěrečná část diplomové práce se zabývala výběrovým řízením 2 granulacích lisů od firem Gama Pardubice a Soma Engineering Lanškroun na základě předem stanovených hodnotících kritérií po kterém následovala celková ekonomická a investiční analýza obou zařízení prostřednictvím výpočtu čistého provozního zisku, čisté současné hodnoty, vnitřního výnosového procenta a celkové doby návratnosti, která zjistila, že ve všech 3 aspektech je výhodnější investovat do lisu na dřevní pelety od Gama Pardubice.

Problematika obnovitelných zdrojů energie je nikdy nekončícím příběhem, který ale může mít například i díky peletám, jejichž spotřeba roste den ode dne, šťastný anebo přinejmenším veselejší konec prostřednictvím zachování životního prostředí a ekosystému celkově, to je totiž to nejvzácnější co máme.

## 6. Seznam použité literatury:

- 1) *Biochemie výroby bioplynu* [online]. Dostupné z: <http://bioplyn.schaumann.cz/vyroba/>
- 2) BROWN, M.L., BULPITT, W.S., WALSH, J.L. *Biomass and alternate fuel systems*. New Jersey, 2009.
- 3) *Ceny pelet a biomasy* [online]. [cit. 2015 – 10 - 15]. Dostupné z: <http://www.ceska-peleta.cz/ekonomika-a-dotace/ceny-pelet-a-biomasy/>
- 4) *Certifikace ENplus* [online]. [cit. 2015 – 10 - 30]. Dostupné z: <http://www.ceska-peleta.cz/klastr-ceska-peleta/certifikace-enplus/>
- 5) *Co jsou pelety* [online]. [cit. 2015 – 10 - 15]. Dostupné z: <http://www.ceskykutil.cz/energie/energie-a-vytapeni/co-jsou-pelety>
- 6) Česká peleta, z.s.p.o. *České peletárny lisují od rána do noci, vyrobí až 200 tisíc tun dřevěných pelet ročně* [online]. Publikováno 29.3. 2013 [cit. 2015 – 10 - 30]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/peletky/9713-ceske-peletarny-lisuji-od-rana-do-noci-vyrobi-az-200-tisic-tun-drevenych-pelet-rocnevyroba> dřevěných pelet: <http://oze.tzb-info.cz/peletky/9713-ceske-peletarny-lisuji-od-rana-do-noci-vyrobi-az-200-tisic-tun-drevenych-pelet-rocne>
- 7) ČSN EN ISO 16559. *Tuhá biopaliva – Terminologie, definice a popis*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), 2015, 48stran.
- 8) ČSN EN ISO 17225-1. *Specifikace a třídy paliv – obecné požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), 2015, 64stran.
- 9) ČSN EN ISO 17225-2. *Specifikace a třídy paliv – tříděné dřevní pelety*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), 2015, 16stran.
- 10) ČSN EN ISO 17225-6. *Specifikace a třídy paliv – tříděné nedřevní pelety*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), 2015, 16stran.
- 11) HAVLÍČKOVÁ, Kamila a kol. *Analýza potenciálu biomasy v ČR*. 1.vydání. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví s Novou tiskárnou Pelhřimov, 2010. ISBN 978-80-85116-72-4.
- 12) Jansa, Oldřich. *Porovnání vlastností alternativních pelet* [online]. Publikováno 2011 [cit. 2015 – 10 - 20]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=39722](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39722)
- 13) Jansa, Oldřich. *Skladba peletizační linky* [online]. [cit. 2015 – 10-23]. Dostupné z : [https://kke.zcu.cz/old\\_web/\\_files/projekty/enazp/13/IUT/065\\_Skladba\\_peletizacni\\_linky\\_-\\_Jansa\\_-\\_P1.pdf](https://kke.zcu.cz/old_web/_files/projekty/enazp/13/IUT/065_Skladba_peletizacni_linky_-_Jansa_-_P1.pdf)
- 14) JEVIČ, P. a kolektiv. *Udržitelná výroba a řízení jakosti tuhých paliv na bázi agrárních bioproduktů*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008.
- 15) KLOBUŠNÍK, Lubomír. *Pelety: palivo budoucnosti*. 1. vyd. České Budějovice: Sdružení harmonie, 2003. ISBN 80-239-1956-3.
- 16) Lyčka, Zdeněk. *Energetická náročnost výroby pelet z biomasy* [online]. Publikováno 2010 [cit. 2015 – 10 - 11]. Dostupné z: <http://www.ceska-peleta.cz/zpravy-z-tisku/energeticka-narocnost-vyroby-pelet-z-biomasy/>

- 17) Lyčka, Zdeněk. *Energetická náročnost výroby pelet z biomasy* [online]. Publikováno 2010 [cit. 2015 – 10 - 11]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticka-narocnost-vyroby-pelet-z-biomasy>
- 18) Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů* [online]. Publikováno v srpnu 2012 [cit. 2015 – 10 - 28]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/obnovitelne\\_zdroje\\_energie/\\$FILE/TOZ-P-NAP\\_OZE-20141121.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/obnovitelne_zdroje_energie/$FILE/TOZ-P-NAP_OZE-20141121.pdf)
- 19) Ministerstvo zemědělství. *Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012–2020* [online]. Publikováno 2012 [cit. 2015 – 11 - 9]. Dostupné z: [http://dataplan.info/img\\_upload/7bdb1584e3b8a53d337518d988763f8d/apb\\_final\\_web.pdf](http://dataplan.info/img_upload/7bdb1584e3b8a53d337518d988763f8d/apb_final_web.pdf)
- 20) Ministerstvo životního prostředí. *Technická směrnice č. 55 - 2010* [online]. Publikováno 2010 [cit. 2015 – 11 - 5]. Dostupné z: [http://www.ekoznacka.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/MZPMSFHMV9DV/\\$FILE/552010.pdf](http://www.ekoznacka.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/MZPMSFHMV9DV/$FILE/552010.pdf)
- 21) MOUSDALE, D.M. *Introduction to biofuels*. New York: Taylor and Francis Group, 2010.
- 22) MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J. *Energie z biomasy*. 2. vyd. Brno: ERA Group, 2008.
- 23) *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice*. 1.vyd. Praha: ČEZ 2007.
- 24) Parlament ČR. *Zákon o ochraně ovzduší* [online]. Publikováno 2.5. 2012 [cit. 2015 – 11 - 5]. Dostupné z: <file:///C:/Users/Admin/Downloads/Z201-2012.pdf>
- 25) Parlament ČR. *Zákon o ochraně ovzduší* [online]. Publikováno 2.5. 2012 [cit. 2015 – 11 - 5]. Dostupné z: [http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=201/2012&typeLaw=zakon&what=Cislo\\_zakona\\_smlouvy](http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=201/2012&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy)
- 26) *Průručka pro oblast životního prostředí* [online]. Publikováno prosinec 2009 [cit. 2015 – 11 - 5]. Dostupné z: [http://www.eurochem.cz/eko/EKO\\_CD32\\_544482/dokumenty/prilohy-prirucky/cast-d/Priloha\\_D\\_023.pdf](http://www.eurochem.cz/eko/EKO_CD32_544482/dokumenty/prilohy-prirucky/cast-d/Priloha_D_023.pdf)
- 27) Ruman, Michal. *Jak funguje spalování biomasy?* [online]. Publikováno 22.6. 2009 [cit. 2015 – 10 - 30]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/vytapeni/biomasa/jak-funguje-spalovani-biomasy-priklad-konopi.aspx>
- 28) STROUHAL, J. *Finanční řízení firmy v příkladech*. Brno: Computer Press, a.s., 2006.
- 29) Stupavský, V. *Kapalná biopaliva* [online]. Publikováno 4.8.2008 [cit. 2016 - 1 - 23]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kapalna-biopaliva-cile-a-perspektivy>
- 30) Stupavský, Vladimír. *Česká peleta* [online]. [cit. 2015 – 10 - 15]. Dostupné z: <http://www.ceska-peleta.cz/>
- 31) Stupavský, Vladimír. *Pelety z biomasy – dřevěné, rostlinné, kůrové pelety* [online]. Publikováno 1.1.2010 [cit. 2015 – 10 - 11]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pelety-z-biomasy-drevene-rostlinne-kurove-pelety>

- 32) Tauchmann, D. *Biomasa v soustavách měst a obcí* [online]. Publikováno 5.2.2007 [cit. 2015 – 11 - 15]. Dostupné z: <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3865>
- 33) Trnobranský, Karel. *Vytápění domů při dnešním vývoji cen energií z fosilních paliv a biomasy jako obnovitelného zdroje energie (II)* [online]. Publikováno 7.5.2007 [cit. 2015 – 10 - 28]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4102-vytapeni-domu-pri-dnesnim-vyvoji-cen-energi-z-fosilnich-paliv-a-biomasy-jako-obnovitelneho-zdroje-energie-ii> obrázek
- 34) Vácha, Jiří. *Technologická linka na výrobu dřevních pelet* [online]. Zpracováno 29.5.2008 [cit. 2015 – 10 - 23]. Dostupné z: [http://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX1NUQzg4MF9vem5hbWVuaURPQ18xLnBkZg/STC880\\_oznameni.pdf](http://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX1NUQzg4MF9vem5hbWVuaURPQ18xLnBkZg/STC880_oznameni.pdf)
- 35) *Vše o vytápění 2. - Krbová kamna na pelety* [online]. Publikováno 8.10. 2015 [cit.2015 – 10 - 30]. Dostupné z: <http://vytapeni-klimatizace.bydleniprokazdeho.cz/krby-kamna-kominy/vse-o-vytapeni-2.-krbova-kamna-na-pelety.php>
- 36) Weiss, V., Svobodová, J. *Biopaliva – jejich výhody a nevýhody* [online]. Publikováno červen 2014 [cit. 2016 – 1 - 22]. Dostupné z: [http://www.csvs.cz/projekty/2014\\_veda\\_pro\\_zivot/KA3\\_prilohy/prezentace-k-prednaskam/10\\_VIKtorie%20Weiss,%20Jaroslava%20Svobodoba\\_Bilopaliva.PDF](http://www.csvs.cz/projekty/2014_veda_pro_zivot/KA3_prilohy/prezentace-k-prednaskam/10_VIKtorie%20Weiss,%20Jaroslava%20Svobodoba_Bilopaliva.PDF)



## 7. Seznamy

### Seznam tabulek:

- 1) Tab.1: Odhadovaná domácí dodávka biomasy v letech 2015 a 2020
- 2) Tab.2: Emisní limity dle tepelného výkonu spalovacího zdroje
- 3) Tab.3: Specifické požadavky na pelety dle směrnice č. 55 – 2008 MŽP ČR
- 4) Tab.4: Fyzikální a technické parametry nejčastěji vyráběných pelet
- 5) Tab.5: Organické a chemické složení dřevních pelet
- 6) Tab.6: Typy dřeva obsažené v jednotlivých třídách
- 7) Tab.7: Objemové a hmotnostní složení suchého vzduchu
- 8) Tab.8: Molekulové hmotnosti prvků v peletě
- 9) Tab.9: Analyzovaná dřevní paliva a bylinná biomasa (specifikace ČSN 15234-1)
- 10) Tab.10: Analýza vzorků – původní stav
- 11) Tab.11: Stechiometrická analýza původních vzorků dřevních a rostlinných pelet za normálních podmínek a referenčního obsahu kyslíku ve spalínách  $O_r = 11 \%$
- 12) Tab.12: Závislost výhřevnosti paliva ( $MJ.kg^{-1}$ ) na přepočtové vodě v palivu ( $\% hm.$ ) za normálních podmínek pro dřevěné a rostlinné pelety
- 13) Tab.13: Hmotnostní tok původního paliva (vzorku) do spalovacího prostoru v závislosti na tepelném výkonu spalovacího zařízení – požadovaná hodnota pro dřevní a rostlinné pelety
- 14) Tab.14: Specifikace vlastností biopaliv podle normy ČSN 17225-2 a 17225-6 pro dusík ( $\% (m/m)$  v bezvodém stavu)
- 15) Tab.15: Specifikace vlastností biopaliv podle normy ČSN 17225-2 a 17225-6 pro síru ( $\% (m/m)$  v bezvodém stavu)
- 16) Tab.16: Specifikace vlastností biopaliv podle normy ČSN 17225-2 a 17225-6 pro vodu a popel v  $\% (m/m)$
- 17) Tab.17: Hodnoty A a B pro vybrané vzorky paliv
- 18) Tab.18: Základní parametry lisů
- 19) Tab.19 : Výběrové řízení na peletizační lis
- 20) Tab.20 : Ekonomická bilance dřevních a rostlinných pelet
- 21) Tab.21 : Výnosy dřevních a rostlinných pelet za rok
- 22) Tab.22 : Provozní náklady na výrobu 1t (bez energií)
- 23) Tab.23 : Celkové provozní náklady za rok
- 24) Tab.24 : Celková ekonomická analýza výnosů a nákladů
- 25) Tab.25 : Celková ekonomická analýza výnosů a nákladů
- 26) Tab.26 : Výpočet ukazatelů do investice lisu
- 27) Tab.27 : Výpočet ukazatelů do investice lisu

## Seznam obrázků:

- 1) Obr.1: Co je biomasa?
- 1) Obr.2: Biomasa ve formě dřevní štěpky
- 2) Obr.3: Dřevěné pelety bez kůry
- 3) Obr.4: Dřevěné pelety s kůrou
- 4) Obr.5: Mezinárodní standard ENplus
- 5) Obr.6: Peletová krbová kamna
- 6) Obr.7: Peletová krbová kamna teplovzdušná
- 7) Obr.8: Pelety ze sena
- 8) Obr.9: Schéma výroby dřevěných pelet
- 9) Obr.10: Dřevní pelety ENplus A<sub>1</sub>
- 10) Obr.11: Piliny ze smrkového dřeva
- 11) Obr.12: Piliny ze smrkového dřeva
- 12) Obr.13: Dřevní pelety Standard
- 13) Obr.14: Přiváděný materiál do deskového granulačního lisu + voda
- 14) Obr.15: Rostlinný odpad z obilovin (plevy, šlupky)
- 15) Obr.16: Hotové pelety na pásovém dopravníku
- 16) Obr.17: Závislost oxidu uhličitého na množství kyslíku ve spalinách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním vzorku za normálních podmínek pro pelety Ekover – řepka + slupky + plevy (Ø 8 mm)
- 17) Obr.18 : Závislost oxidu uhličitého na množství kyslíku ve spalinách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním vzorku za normálních podmínek pro pelety (standard) – smrkové piliny (Ø8mm)
- 18) Obr.19 : Závislost oxidu uhličitého na množství kyslíku ve spalinách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním vzorku za normálních podmínek pro pelety A1 (Ecovest) – smrkové a borovicové piliny (Ø6mm)
- 19) Obr.20 : Závislost oxidu uhličitého na množství kyslíku ve spalinách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním vzorku za normálních podmínek pro pelety (A1) – Kulda - smrkové piliny (Ø6mm)
- 20) Obr.21: Obsah dusíku v původním stavu vzorku v % hm. ■ a obsah dusíku v bezvodém stavu v % hm. ■
- 21) Obr.22: Obsah síry v původním stavu vzorku v % hm. ■ a obsah síry v bezvodém stavu v % hm. ■
- 22) Obr.23: Výhřevnost vzorků biopaliv v bezvodém stavu v MJ.kg<sup>-1</sup> ■ a výhřevnost přepočtová na 10 % hm. obsah vody v MJ.kg<sup>-1</sup> ■
- 23) Obr.24: Obsah vody v původním stavu vzorku v % hm.
- 24) Obr.25: Obsah popele ve vzorku v % hm.
- 25) Obr.26: Porovnání hmotnostních toků vzorků v původním stavu do spalovacího prostoru při tepelném výkonu spalovacího zařízení 50kW.

## **Seznam příloh:**

Příloha 1: Pelety EKOVER – řepka

Příloha 2: Pelety dřevní (standard)

Příloha 3: Pelety dřevní (A1) – Ecovest

Příloha 4: Pelety dřevní (A1) – Kulda

Příloha 5: Analýza vzorků

Příloha 6: Základní veličiny u teplovodních a nízkotlakých parních kotlů

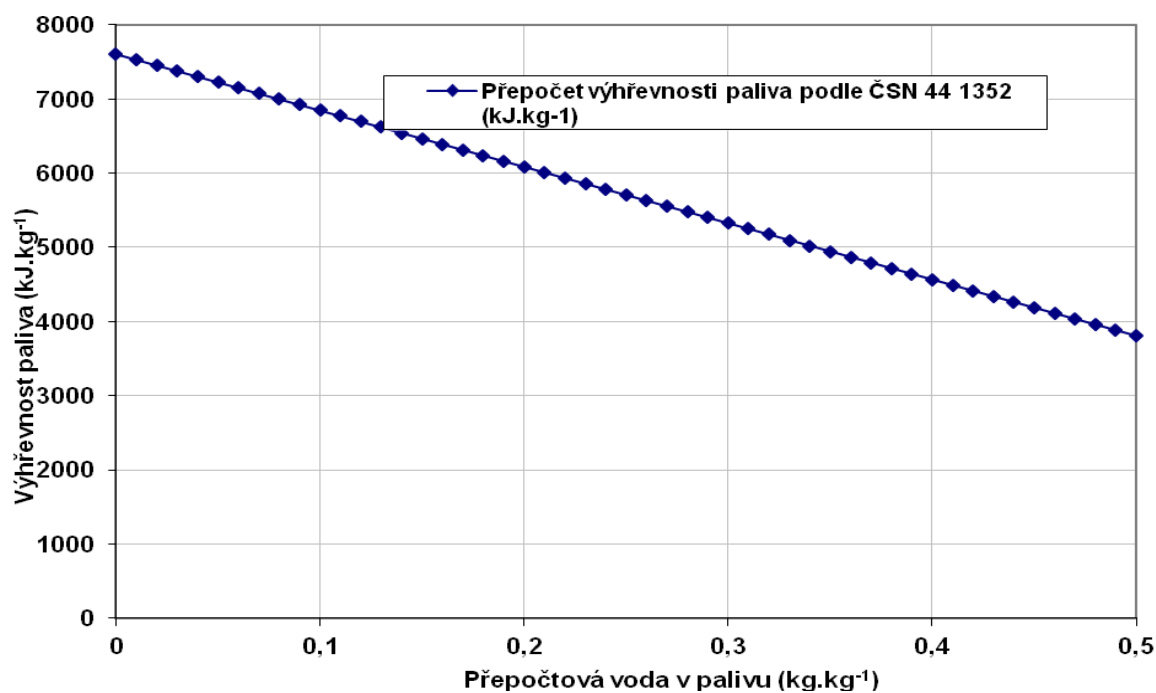
## Přílohy:

### Příloha 1::Pelety EKOVER – řepka

<b>W</b>	Veškerá voda v původním vzorku	0,102	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>W</b>	Veškerá voda přepočtová	0	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>C</b>	Množství uhlíku v původním vzorku	0,356	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>H</b>	Množství vodíku v původním vzorku	0,0654	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>O</b>	Množství kyslíku v původním vzorku	0,41576	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>S</b>	Množství síry v původním vzorku	0,00014	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>N</b>	Množství dusíku v původním vzorku	0,0168	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>A</b>	Množství popele v původním vzorku	0,0439	kg.kg <sup>-1</sup>
	Suma	100,000	%
<b>C</b>	Hmotnostní podíl uhlíku v palivu	39,644	%
<b>H</b>	Hmotnostní podíl vodíku v palivu	7,283	%
<b>O</b>	Hmotnostní podíl kyslíku v palivu	46,298	%
<b>S</b>	Hmotnostní podíl síry v palivu	0,016	%
<b>N</b>	Hmotnostní podíl dusíku v palivu	1,871	%
<b>A</b>	Hmotnostní podíl popele v palivu	4,889	%
	Suma	100,000	%

$\sigma(W_i)$	$\sigma(C_i)$	$\sigma(H_i)$	$\sigma(O_i)$	$\sigma(S_i)$	$\sigma(N_i)$	
Veškerá voda v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl uhlíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl vodíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl kyslíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl síry v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl dusíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Přepočet výhřevnosti paliva podle ČSN 44 1352 (kJ.kg <sup>-1</sup> )
0	0,396436526	0,072828508	0,46298441	0,000155902	0,018708241	7609,561572
0,01	0,39247216	0,072100223	0,458354566	0,000154343	0,018521158	7533,441537
0,02	0,388507795	0,071371938	0,453724722	0,000152784	0,018334076	7457,321501
0,03	0,38454343	0,070643653	0,449094878	0,000151225	0,018146993	7381,201465
0,04	0,380579065	0,069915367	0,444465033	0,000149666	0,017959911	7305,081429
0,05	0,376614699	0,069187082	0,439835189	0,000148107	0,017772829	7228,961394
0,06	0,372650334	0,068458797	0,435205345	0,000146548	0,017585746	7152,841358
0,07	0,368685969	0,067730512	0,430575501	0,000144989	0,017398664	7076,721322
0,08	0,364721604	0,067002227	0,425945657	0,00014343	0,017211581	7000,601287
0,09	0,360757238	0,066273942	0,421315813	0,000141871	0,017024499	6924,481251
0,1	0,356792873	0,065545657	0,416685969	0,000140312	0,016837416	6848,361215
0,11	0,352828508	0,064817372	0,412056125	0,000138753	0,016650334	6772,241179
0,12	0,348864143	0,064089087	0,407426281	0,000137194	0,016463252	6696,121144
0,13	0,344899777	0,063360802	0,402796437	0,000135635	0,016276169	6620,001108
0,14	0,340935412	0,062632517	0,398166592	0,000134076	0,016089087	6543,881072
0,15	0,336971047	0,061904232	0,393536748	0,000132517	0,015902004	6467,761037
0,16	0,333006682	0,061175947	0,388906904	0,000130958	0,015714922	6391,641001
0,17	0,329042316	0,060447661	0,38427706	0,000129399	0,01552784	6315,520965
0,18	0,325077951	0,059719376	0,379647216	0,00012784	0,015340757	6239,400929
0,19	0,321113586	0,058991091	0,375017372	0,000126281	0,015153675	6163,280894
0,2	0,31714922	0,058262806	0,370387528	0,000124722	0,014966592	6087,160858

0,21	0,313184855	0,057534521	0,365757684	0,000123163	0,01477951	6011,040822
0,22	0,30922049	0,056806236	0,36112784	0,000121604	0,014592428	5934,920786
0,23	0,305256125	0,056077951	0,356497996	0,000120045	0,014405345	5858,800751
0,24	0,301291759	0,055349666	0,351868151	0,000118486	0,014218263	5782,680715
0,25	0,297327394	0,054621381	0,347238307	0,000116927	0,014031118	5706,560679
0,26	0,293363029	0,053893096	0,342608463	0,000115367	0,013844098	5630,440644
0,27	0,289398664	0,053164811	0,337978619	0,000113808	0,013657016	5554,320608
0,28	0,285434298	0,052436526	0,333348775	0,000112249	0,013469933	5478,200572
0,29	0,281469933	0,051708241	0,328718931	0,00011069	0,013282851	5402,080536
0,3	0,277505568	0,050979955	0,324089087	0,000109131	0,013095768	5325,960501
0,31	0,273541203	0,05025167	0,319459243	0,000107572	0,012908686	5249,840465
0,32	0,269576837	0,049523385	0,314829399	0,000106013	0,012721604	5173,720429
0,33	0,265612472	0,0487951	0,310199555	0,000104454	0,012534521	5097,600393
0,34	0,261648107	0,048066815	0,30556971	0,000102895	0,012347439	5021,480358
0,35	0,257683742	0,04733853	0,300939866	0,000101336	0,012160356	4945,360322
0,36	0,253719376	0,046610245	0,296310022	9,97773E-05	0,011973274	4869,240286
0,37	0,249755011	0,04588196	0,291680178	9,82183E-05	0,011786192	4793,120251
0,38	0,245790646	0,045153675	0,287050334	9,66592E-05	0,011599109	4717,000215
0,39	0,241826281	0,04442539	0,28242049	9,51002E-05	0,011412027	4640,880179
0,4	0,237861915	0,043697105	0,277790646	9,35412E-05	0,011224944	4564,760143
0,41	0,23389755	0,04296882	0,273160802	9,19822E-05	0,011037862	4488,640108
0,42	0,229933185	0,042240535	0,268530958	9,04232E-05	0,01085078	4412,520072
0,43	0,22596882	0,041512249	0,263901114	8,88641E-05	0,010663697	4336,400036
0,44	0,222004454	0,040783964	0,259271269	8,73051E-05	0,010476615	4260,280001
0,45	0,218040089	0,040055679	0,254641425	8,57461E-05	0,010289532	4184,159965
0,46	0,214075724	0,039327394	0,250011581	8,41871E-05	0,01010245	4108,039929
0,47	0,210111359	0,038599109	0,245381737	8,26281E-05	0,009915367	4031,919893
0,48	0,206146993	0,037870824	0,240751893	8,1069E-05	0,009728285	3955,799858
0,49	0,202182628	0,037142539	0,236122049	7,951E-05	0,009541203	3879,679822
0,5	0,198218263	0,036414254	0,231492205	7,7951E-05	0,00935412	3803,559786



<b>1 Stechiometrie spalovacích procesů</b>			
<b>1.1 Spalování tuhých a kapalných paliv (odpadů)</b>			
Pelety - řepka			
<b>1.2 Spalné teplo a výhřevnost paliv (hořlavých odpadů)</b>			
$Q_n$	Výhřevnost paliva podle ČSN 44 1352	6833,137208	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
$Q_v$	Spalné teplo	8510,00	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
<b>1.2.1 Spalné teplo pro tuhá a kapalná paliva</b>			
$C$	Hmotnostní podíl uhlíku v původním palivu	0,3560	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$H$	Hmotnostní podíl vodíku v původním palivu	0,0654	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$O$	Hmotnostní podíl kyslíku v původním palivu	0,4158	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$S$	Hmotnostní podíl síry v původním palivu	0,0001	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$N$	Hmotnostní podíl dusíku v původním palivu	0,0168	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$W$	Obsah veškeré vody v původním palivu	0,1020	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
<b>1.3.1 Hmotnostní spalování</b>			
$O_{min}$	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování	1,06	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$L_{min}$	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování	4,56	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$L_{skut}$	Skutečné množství vzduchu pro spalování	9,57	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$n$	Součinitel přebytku vzduchu	2,10	
$m_{sp}^v$	Hmotnostní množství vlhkých spalin	10,80	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{sp}^s$	Hmotnostní množství suchých spalin	9,72	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{spmin}^s$	Teoretické hmotnostní množství suchých spalin	6,76	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{CO_2}$	Hmotnostní množství $\text{CO}_2$	1,31	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{SO_2}$	Hmotnostní množství $\text{SO}_2$	0,00	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{H_2O}$	Hmotnostní množství $\text{H}_2\text{O}$	1,07	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{N_2}$	Hmotnostní množství $\text{N}_2$	7,24	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{O_2}$	Hmotnostní množství $\text{O}_2$	1,16	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{Ar}$	Hmotnostní množství Ar	0,01	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
<b>1.3.2 Vyjádření jednotlivých složek spalin v %</b>			
$CO_{2max}$	Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách	19,31	%
$SO_{2max}$	Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalinách	0,00	%
$CO_2$	Oxid uhličité	12,13	%
$SO_2$	Oxid siřičité	0,00	%
$H_2O$	Voda	9,94	%
$N_2$	Dusík	67,04	%
$O_2$	Kyslík	10,77	%
<b>1.4.1 Objemové spalování</b>			
$O_{min}$	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování	0,74	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$L_{min}$	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování	3,51	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$L_{skut}$	Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování	7,36	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$n$	Součinitel přebytku vzduchu	2,10	
$V_{sp}^v$	Objemové množství vlhkých spalin	8,45	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{sp}^s$	Objemové množství suchých spalin	7,30	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{spmin}^s$	Teoretické objemové množství suchých spalin	3,41	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{CO_2}$	Objemové množství $\text{CO}_2$	0,66	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{SO_2}$	Objemové množství $\text{SO}_2$	0,00	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{H_2O}$	Objemové množství $\text{H}_2\text{O}$	1,15	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{N_2}$	Objemové množství $\text{N}_2$	5,76	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{O_2}$	Objemové množství $\text{O}_2$	0,81	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{Ar}$	Objemové množství Ar	0,07	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
<b>1.4.2 Vyjádření jednotlivých složek spalin v %</b>			
$CO_{2max}$	Teoretická objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách	19,36	%
$SO_{2max}$	Teoretická objemová koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalinách	0,00	%

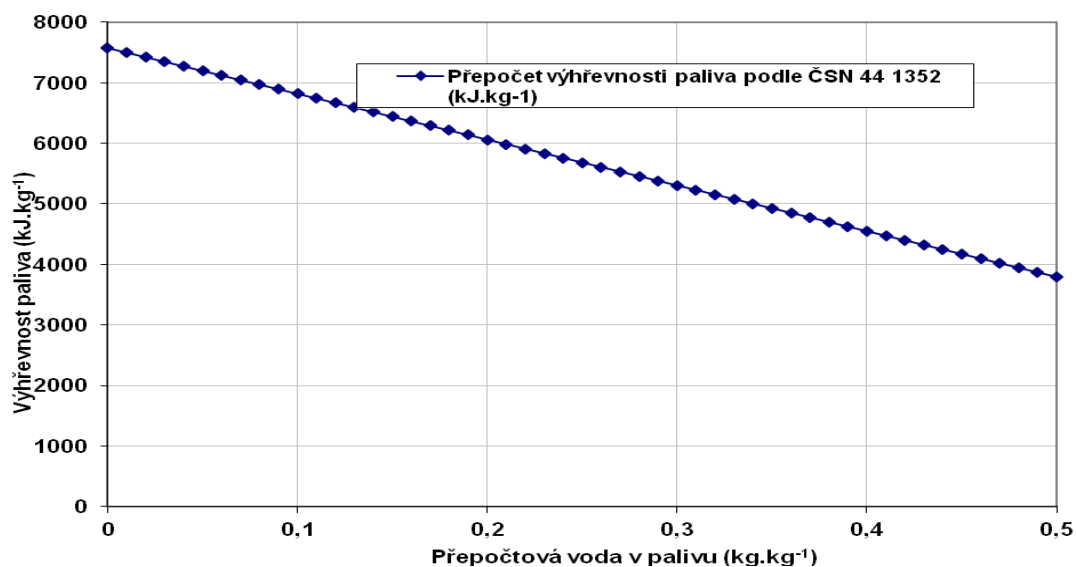
<b>CO<sub>2</sub></b>	Oxid uhličitý	7,84	%
<b>SO<sub>2</sub></b>	Oxid siřičitý	0,00	%
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Voda	13,59	%
<b>N<sub>2</sub></b>	Dusík	68,18	%
<b>O<sub>2</sub></b>	Kyslík	9,59	%
<b>n</b>	Přibližný výpočet součinitele přebytku vzduchu z poměru CO <sub>2max</sub> a CO <sub>2</sub>	2,47	

## Příloha 2: Pelety dřevní (standard)

<b>W</b>	Veškerá voda v původním vzorku	0,085	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>W</b>	Veškerá voda přepočtová	0	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>C</b>	Množství uhlíku v původním vzorku	0,4628	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>H</b>	Množství vodíku v původním vzorku	0,0627	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>O</b>	Množství kyslíku v původním vzorku	0,38621	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>S</b>	Množství síry v původním vzorku	0,00001	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>N</b>	Množství dusíku v původním vzorku	0,00008	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>A</b>	Množství popele v původním vzorku	0,0032	kg.kg <sup>-1</sup>
	Suma	100,000	%
<b>C</b>	Hmotnostní podíl uhlíku v palivu	50,579	%
<b>H</b>	Hmotnostní podíl vodíku v palivu	6,852	%
<b>O</b>	Hmotnostní podíl kyslíku v palivu	42,209	%
<b>S</b>	Hmotnostní podíl síry v palivu	0,001	%
<b>N</b>	Hmotnostní podíl dusíku v palivu	0,009	%
<b>A</b>	Hmotnostní podíl popele v palivu	0,350	%
	Suma	100,000	%

$\sigma(W_i)$	$\sigma(C_i)$	$\sigma(H_i)$	$\sigma(O_i)$	$\sigma(S_i)$	$\sigma(N_i)$	
Veškerá voda v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl uhlíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl vodíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl kyslíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl síry v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl dusíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Přepočet výhřevnosti paliva podle ČSN 44 1352 (kJ.kg <sup>-1</sup> )
0	0,50579235	0,06852459	0,422087432	1,0929E-05	8,74317E-05	7577,927622
0,01	0,500734426	0,067839344	0,417866557	1,08197E-05	8,65574E-05	7502,123926
0,02	0,495676503	0,067154098	0,413645683	1,07104E-05	8,56831E-05	7426,320229
0,03	0,490618579	0,066468852	0,409424809	1,06011E-05	8,48087E-05	7350,516533
0,04	0,485560656	0,065783607	0,405203934	1,04918E-05	8,39344E-05	7274,712837
0,05	0,480502732	0,065098361	0,40098306	1,03825E-05	8,30601E-05	7198,909141
0,06	0,475444809	0,064413115	0,396762186	1,02732E-05	8,21858E-05	7123,105445
0,07	0,470386885	0,063727869	0,392541311	1,01639E-05	8,13115E-05	7047,301748
0,08	0,465328962	0,063042623	0,388320437	1,00546E-05	8,04372E-05	6971,498052
0,09	0,460271038	0,062357377	0,384099563	9,94536E-06	7,95628E-05	6895,694356
0,1	0,455213115	0,061672131	0,379878689	9,83607E-06	7,86885E-05	6819,89066
0,11	0,450155191	0,060986885	0,375657814	9,72678E-06	7,78142E-05	6744,086963
0,12	0,445097268	0,060301639	0,37143694	9,61749E-06	7,69399E-05	6668,283267
0,13	0,440039344	0,059616393	0,367216066	9,5082E-06	7,60656E-05	6592,479571
0,14	0,434981421	0,058931148	0,362995191	9,39891E-06	7,51913E-05	6516,675875
0,15	0,429923497	0,058245902	0,358774317	9,28962E-06	7,43169E-05	6440,872179
0,16	0,424865574	0,057560656	0,354553443	9,18033E-06	7,34426E-05	6365,068482

0,17	0,41980765	0,05687541	0,350332568	9,07104E-06	7,25683E-05	6289,264786
0,18	0,414749727	0,056190164	0,346111694	8,96175E-06	7,1694E-05	6213,46109
0,19	0,409691803	0,055504918	0,34189082	8,85246E-06	7,08197E-05	6137,657394
0,2	0,40463388	0,054819672	0,337669945	8,74317E-06	6,99454E-05	6061,853697
0,21	0,399575956	0,054134426	0,333449071	8,63388E-06	6,9071E-05	5986,050001
0,22	0,394518033	0,05344918	0,329228197	8,52459E-06	6,81967E-05	5910,246305
0,23	0,389460109	0,052763934	0,325007322	8,4153E-06	6,73224E-05	5834,442609
0,24	0,384402186	0,052078689	0,320786448	8,30601E-06	6,64481E-05	5758,638913
0,25	0,379344262	0,051393443	0,316565574	8,19672E-06	6,55738E-05	5682,835216
0,26	0,374286339	0,050708197	0,312344699	8,08743E-06	6,46995E-05	5607,03152
0,27	0,369228415	0,050022951	0,308123825	7,97814E-06	6,38251E-05	5531,227824
0,28	0,364170492	0,049337705	0,303902951	7,86885E-06	6,29508E-05	5455,424128
0,29	0,359112568	0,048652459	0,299682077	7,75956E-06	6,20765E-05	5379,620432
0,3	0,354054645	0,047967213	0,295461202	7,65027E-06	6,12022E-05	5303,816735
0,31	0,348996721	0,047281967	0,291240328	7,54098E-06	6,03279E-05	5228,013039
0,32	0,343938798	0,046596721	0,287019454	7,43169E-06	5,94536E-05	5152,209343
0,33	0,338880874	0,045911475	0,282798579	7,3224E-06	5,85792E-05	5076,405647
0,34	0,333822951	0,04522623	0,278577705	7,21311E-06	5,77049E-05	5000,60195
0,35	0,328765027	0,044540984	0,274356831	7,10383E-06	5,68306E-05	4924,798254
0,36	0,323707104	0,043855738	0,270135956	6,99454E-06	5,59563E-05	4848,994558
0,37	0,31864918	0,043170492	0,265915082	6,88525E-06	5,5082E-05	4773,190862
0,38	0,313591257	0,042485246	0,261694208	6,77596E-06	5,42077E-05	4697,387166
0,39	0,308533333	0,0418	0,257473333	6,66667E-06	5,33333E-05	4621,583469
0,4	0,30347541	0,0411114754	0,253252459	6,55738E-06	5,2459E-05	4545,779773
0,41	0,298417486	0,040429508	0,249031585	6,44809E-06	5,15847E-05	4469,976077
0,42	0,293359563	0,039744262	0,24481071	6,3388E-06	5,07104E-05	4394,172381
0,43	0,288301639	0,039059016	0,240589836	6,22951E-06	4,98361E-05	4318,368684
0,44	0,283243716	0,03837377	0,236368962	6,12022E-06	4,89617E-05	4242,564988
0,45	0,278185792	0,037688525	0,232148087	6,01093E-06	4,80874E-05	4166,761292
0,46	0,273127869	0,037003279	0,227927213	5,90164E-06	4,72131E-05	4090,957596
0,47	0,268069945	0,036318033	0,223706339	5,79235E-06	4,63388E-05	4015,1539
0,48	0,263012022	0,035632787	0,219485464	5,68306E-06	4,54645E-05	3939,350203
0,49	0,257954098	0,034947541	0,21526459	5,57377E-06	4,45902E-05	3863,546507
0,5	0,252896175	0,034262295	0,211043716	5,46448E-06	4,37158E-05	3787,742811





## 1 Stechiometrie spalovacích procesů

### 1.1 Spalování tuhých a kapalných paliv (odpadů)

Pelety - piliny

#### 1.2 Spalné teplo a výhřevnost paliv (hořlavých odpadů)

$Q_n$	Výhřevnost paliva podle ČSN 44 1352	6933,596204	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
$Q_v$	Spalné teplo	8510,00	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
<b>1.2.1 Spalné teplo pro tuhá a kapalná paliva</b>			
$C$	Hmotnostní podíl uhlíku v původním palivu	0,4628	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$H$	Hmotnostní podíl vodíku v původním palivu	0,0627	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$O$	Hmotnostní podíl kyslíku v původním palivu	0,3854	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$S$	Hmotnostní podíl síry v původním palivu	0,0001	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$N$	Hmotnostní podíl dusíku v původním palivu	0,0008	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$W$	Obsah veškeré vody v původním palivu	0,0850	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$

#### 1.3.1 Hmotnostní spalování

$O_{min}$	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování	1,35	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$L_{min}$	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování	5,82	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$L_{skut}$	Skutečné množství vzduchu pro spalování	12,22	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$n$	Součinitel přebytku vzduchu	2,10	
$m_{sp}^v$	Hmotnostní množství vlhkých spalin	13,57	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{sp}^s$	Hmotnostní množství suchých spalin	12,43	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{spmin}^s$	Teoretické hmotnostní množství suchých spalin	8,09	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{CO_2}$	Hmotnostní množství $\text{CO}_2$	1,70	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{SO_2}$	Hmotnostní množství $\text{SO}_2$	0,00	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{H_2O}$	Hmotnostní množství $\text{H}_2\text{O}$	1,14	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{N_2}$	Hmotnostní množství $\text{N}_2$	9,23	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{O_2}$	Hmotnostní množství $\text{O}_2$	1,49	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
$m_{Ar}$	Hmotnostní množství Ar	0,02	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$

#### 1.3.2 Vyjádření jednotlivých složek spalin v %

$CO_{2max}$	Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách	20,97	%
$SO_{2max}$	Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalinách	0,00	%
$CO_2$	Oxid uhličitý	12,55	%
$SO_2$	Oxid siřičitý	0,00	%
$H_2O$	Voda	8,39	%
$N_2$	Dusík	68,00	%
$O_2$	Kyslík	10,95	%

#### 1.4.1 Objemové spalování

$O_{min}$	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování	0,94	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$L_{min}$	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování	4,48	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$L_{skut}$	Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování	9,41	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$n$	Součinitel přebytku vzduchu	2,10	
$V_{sp}^v$	Objemové množství vlhkých spalin	10,51	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{sp}^s$	Objemové množství suchých spalin	9,33	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{spmin}^s$	Teoretické objemové množství suchých spalin	4,36	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{CO_2}$	Objemové množství $\text{CO}_2$	0,86	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{SO_2}$	Objemové množství $\text{SO}_2$	0,00	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{H_2O}$	Objemové množství $\text{H}_2\text{O}$	1,18	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{N_2}$	Objemové množství $\text{N}_2$	7,35	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{O_2}$	Objemové množství $\text{O}_2$	1,04	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$V_{Ar}$	Objemové množství Ar	0,09	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$

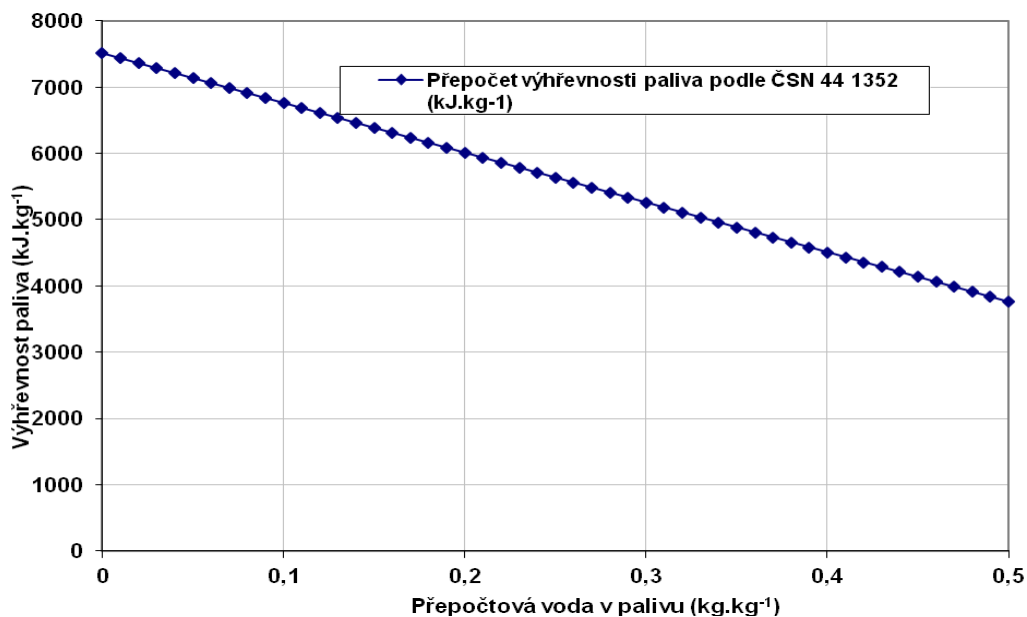
1.4.2 Vyjádření jednotlivých složek spalin v %			
$CO_{2max}$	Teoretická objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách	19,69	%
$SO_{2max}$	Teoretická objemová koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalinách	0,00	%
$CO_2$	Oxid uhličitý	8,19	%
$SO_2$	Oxid siřičitý	0,00	%
$H_2O$	Voda	11,22	%
$N_2$	Dusík	69,91	%
$O_2$	Kyslík	9,85	%
$n$	Přibližný výpočet součinitele přebytku vzduchu z poměru $CO_{2max}$ a $CO_2$	2,40	

### Příloha 3: Pelety dřevní (A1) – Ecovest

<b>W</b>	Veškerá voda v původním vzorku	0,0746	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>W</b>	Veškerá voda přepočtová	0	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>C</b>	Množství uhlíku v původním vzorku	0,4694	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>H</b>	Množství vodíku v původním vzorku	0,0628	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>O</b>	Množství kyslíku v původním vzorku	0,3878	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>S</b>	Množství síry v původním vzorku	0,0001	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>N</b>	Množství dusíku v původním vzorku	0,0008	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>A</b>	Množství popele v původním vzorku	0,0045	kg.kg <sup>-1</sup>
	Suma	100,000	%
<b>C</b>	Hmotnostní podíl uhlíku v palivu	50,724	%
<b>H</b>	Hmotnostní podíl vodíku v palivu	6,786	%
<b>O</b>	Hmotnostní podíl kyslíku v palivu	41,906	%
<b>S</b>	Hmotnostní podíl síry v palivu	0,011	%
<b>N</b>	Hmotnostní podíl dusíku v palivu	0,086	%
<b>A</b>	Hmotnostní podíl popele v palivu	0,486	%
	Suma	100,000	%

$\alpha(W_i)$	$\alpha(C_i)$	$\alpha(H_i)$	$\alpha(O)$	$\alpha(S_i)$	$\alpha(N)$	
Veškerá voda v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl uhlíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl vodíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl kyslíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl síry v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl dusíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Přepočet výhřevnosti paliva podle ČSN 44 1352 (kJ.kg <sup>-1</sup> )
0	0,507240112	0,067862546	0,419937324	1,08061E-05	8,64491E-05	7517,821514
0,01	0,502167711	0,06718392	0,415737951	1,06981E-05	8,55846E-05	7442,618879
0,02	0,49709531	0,066505295	0,411538578	1,059E-05	8,47201E-05	7367,416244
0,03	0,492022909	0,06582667	0,407339205	1,0482E-05	8,38556E-05	7292,213609
0,04	0,486950508	0,065148044	0,403139831	1,03739E-05	8,29911E-05	7217,010974
0,05	0,481878107	0,064469419	0,398940458	1,02658E-05	8,21266E-05	7141,808338
0,06	0,476805706	0,063790793	0,394741085	1,01578E-05	8,12622E-05	7066,605703
0,07	0,471733305	0,063112168	0,390541712	1,00497E-05	8,03977E-05	6991,403068
0,08	0,466660903	0,062433542	0,386342338	9,94165E-06	7,95332E-05	6916,200433
0,09	0,461588502	0,061754917	0,382142965	9,83359E-06	7,86687E-05	6840,997798
0,1	0,456516101	0,061076291	0,377943592	9,72552E-06	7,78042E-05	6765,795163
0,11	0,4514437	0,060397666	0,373744219	9,61746E-06	7,69397E-05	6690,592528
0,12	0,446371299	0,05971904	0,369544845	9,5094E-06	7,60752E-05	6615,389892
0,13	0,441298898	0,059040415	0,365345472	9,40134E-06	7,52107E-05	6540,187257

0,14	0,436226497	0,058361789	0,361146099	9,29328E-06	7,43462E-05	6464,984622
0,15	0,431154096	0,057683164	0,356946726	9,18522E-06	7,34817E-05	6389,781987
0,16	0,426081694	0,057004539	0,352747352	9,07716E-06	7,26172E-05	6314,579352
0,17	0,421009293	0,056325913	0,348547979	8,96909E-06	7,17528E-05	6239,376717
0,18	0,415936892	0,055647288	0,344348606	8,86103E-06	7,08883E-05	6164,174082
0,19	0,410864491	0,054968662	0,340149233	8,75297E-06	7,00238E-05	6088,971446
0,2	0,40579209	0,054290037	0,33594986	8,64491E-06	6,91593E-05	6013,768811
0,21	0,400719689	0,053611411	0,331750486	8,53685E-06	6,82948E-05	5938,566176
0,22	0,395647288	0,052932786	0,327551113	8,42879E-06	6,74303E-05	5863,363541
0,23	0,390574887	0,05225416	0,32335174	8,32073E-06	6,65658E-05	5788,160906
0,24	0,385502485	0,051575535	0,319152367	8,21266E-06	6,57013E-05	5712,958271
0,25	0,380430084	0,050896909	0,314952993	8,1046E-06	6,48368E-05	5637,755636
0,26	0,375357683	0,050218284	0,31075362	7,99654E-06	6,39723E-05	5562,553
0,27	0,370285282	0,049539659	0,306554247	7,88848E-06	6,31078E-05	5487,350365
0,28	0,365212881	0,048861033	0,302354874	7,78042E-06	6,22434E-05	5412,14773
0,29	0,36014048	0,048182408	0,2981555	7,67236E-06	6,13789E-05	5336,945095
0,3	0,355068079	0,047503782	0,293956127	7,5643E-06	6,05144E-05	5261,74246
0,31	0,349995678	0,046825157	0,289756754	7,45624E-06	5,96499E-05	5186,539825
0,32	0,344923276	0,046146531	0,285557381	7,34817E-06	5,87854E-05	5111,33719
0,33	0,339850875	0,045467906	0,281358007	7,24011E-06	5,79209E-05	5036,134554
0,34	0,334778474	0,04478928	0,277158634	7,13205E-06	5,70564E-05	4960,931919
0,35	0,329706073	0,044110655	0,272959261	7,02399E-06	5,61919E-05	4885,729284
0,36	0,324633672	0,043432029	0,268759888	6,91593E-06	5,53274E-05	4810,526649
0,37	0,319561271	0,042753404	0,264560514	6,80787E-06	5,44629E-05	4735,324014
0,38	0,31448887	0,042074778	0,260361141	6,69981E-06	5,35984E-05	4660,121379
0,39	0,309416469	0,041396153	0,256161768	6,59174E-06	5,2734E-05	4584,918744
0,4	0,304344067	0,040717528	0,251962395	6,48368E-06	5,18695E-05	4509,716108
0,41	0,299271666	0,040038902	0,247763021	6,37562E-06	5,1005E-05	4434,513473
0,42	0,294199265	0,039360277	0,243563648	6,26756E-06	5,01405E-05	4359,310838
0,43	0,289126864	0,038681651	0,239364275	6,1595E-06	4,9276E-05	4284,108203
0,44	0,284054463	0,038003026	0,235164902	6,05144E-06	4,84115E-05	4208,905568
0,45	0,278982062	0,0373244	0,230965528	5,94338E-06	4,7547E-05	4133,702933
0,46	0,273909661	0,036645775	0,226766155	5,83531E-06	4,66825E-05	4058,500298
0,47	0,26883726	0,035967149	0,222566782	5,72725E-06	4,5818E-05	3983,297663
0,48	0,263764858	0,035288524	0,218367409	5,61919E-06	4,49535E-05	3908,095027
0,49	0,258692457	0,034609898	0,214168035	5,51113E-06	4,4089E-05	3832,892392
0,5	0,253620056	0,033931273	0,209968662	5,40307E-06	4,32246E-05	3757,689757



## 1 Stechiometrie spalovacích procesů

### 1.1 Spalování tuhých a kapalných paliv (odpadů)

Pelety dřevní - Ecovest

### 1.2 Spalné teplo a výhřevnost paliv (hořlavých odpadů)

$Q_n$	Výhřevnost paliva podle ČSN 44 1352	6956,809856	kJ.kg <sup>-1</sup>
$Q_v$	Spalné teplo	8510,00	kJ.kg <sup>-1</sup>
<b>1.2.1 Spalné teplo pro tuhá a kapalná paliva</b>			
$C$	Hmotnostní podíl uhlíku v původním palivu	0,4694	kg.kg <sup>-1</sup>
$H$	Hmotnostní podíl vodíku v původním palivu	0,0628	kg.kg <sup>-1</sup>
$O$	Hmotnostní podíl kyslíku v původním palivu	0,3878	kg.kg <sup>-1</sup>
$S$	Hmotnostní podíl síry v původním palivu	0,0001	kg.kg <sup>-1</sup>
$N$	Hmotnostní podíl dusíku v původním palivu	0,0008	kg.kg <sup>-1</sup>
$W$	Obsah veškeré vody v původním palivu	0,0746	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>1.3.1 Hmotnostní spalování</b>			
$O_{min}$	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování	1,37	kg.kg <sup>-1</sup>
$L_{min}$	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování	5,89	kg.kg <sup>-1</sup>
$L_{skut}$	Skutečné množství vzduchu pro spalování	12,37	kg.kg <sup>-1</sup>
$n$	Součinitel přebytku vzduchu	2,10	
$m_{sp}^v$	Hmotnostní množství vlhkých spalin	13,72	kg.kg <sup>-1</sup>
$m_{sp}^s$	Hmotnostní množství suchých spalin	12,58	kg.kg <sup>-1</sup>
$m_{spmin}^s$	Teoretické hmotnostní množství suchých spalin	8,17	kg.kg <sup>-1</sup>
$m_{CO_2}$	Hmotnostní množství CO <sub>2</sub>	1,73	kg.kg <sup>-1</sup>
$m_{SO_2}$	Hmotnostní množství SO <sub>2</sub>	0,00	kg.kg <sup>-1</sup>
$m_{H_2O}$	Hmotnostní množství H <sub>2</sub> O	1,13	kg.kg <sup>-1</sup>
$m_{N_2}$	Hmotnostní množství N <sub>2</sub>	9,34	kg.kg <sup>-1</sup>
$m_{O_2}$	Hmotnostní množství O <sub>2</sub>	1,50	kg.kg <sup>-1</sup>
$m_{Ar}$	Hmotnostní množství Ar	0,02	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>1.3.2 Vyjádření jednotlivých složek spalin v %</b>			
$CO_{2max}$	Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách	21,07	%
$SO_{2max}$	Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalinách	0,00	%
$CO_2$	Oxid uhličité	12,59	%
$SO_2$	Oxid siřičitý	0,00	%

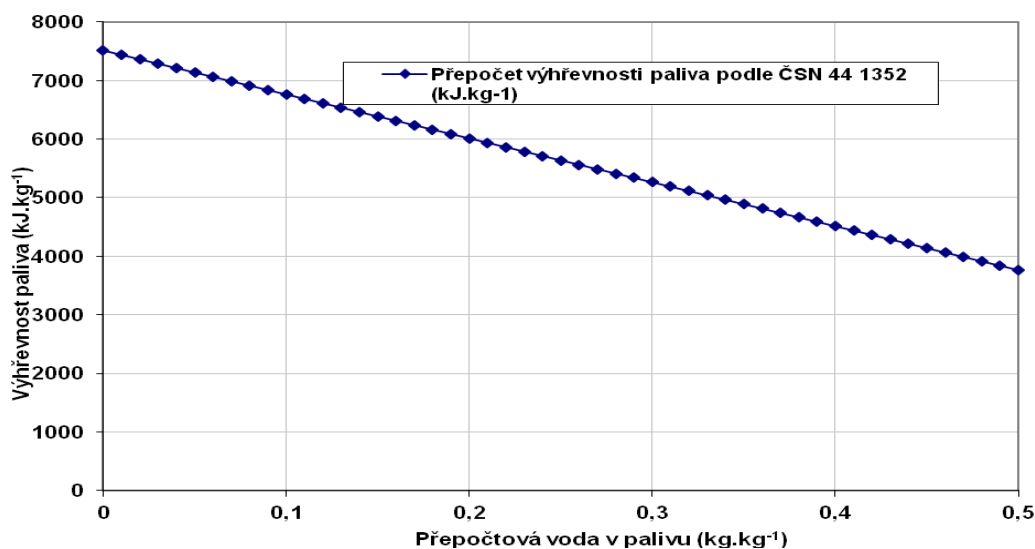
$H_2O$	Voda	8,27	%
$N_2$	Dusík	68,06	%
$O_2$	Kyslík	10,96	%
<b>1.4.1 Objemové spalování</b>			
$O_{min}$	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování	0,95	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$L_{min}$	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování	4,54	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$L_{skut}$	Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování	9,53	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$n$	Součinitel přebytku vzduchu	2,10	
$V_{sp}^V$	Objemové množství vlhkých spalin	10,62	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{sp}^S$	Objemové množství suchých spalin	9,44	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{spmin}^S$	Teoretické objemové množství suchých spalin	4,41	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{CO_2}$	Objemové množství $CO_2$	0,87	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{SO_2}$	Objemové množství $SO_2$	0,00	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{H_2O}$	Objemové množství $H_2O$	1,17	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{N_2}$	Objemové množství $N_2$	7,44	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{O_2}$	Objemové množství $O_2$	1,05	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{Ar}$	Objemové množství Ar	0,09	$m^3 \cdot kg^{-1}$
<b>1.4.2 Vyjádření jednotlivých složek spalin v %</b>			
$CO_{2max}$	Teoretická objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách	19,73	%
$SO_{2max}$	Teoretická objemová koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalinách	0,00	%
$CO_2$	Oxid uhličitý	8,23	%
$SO_2$	Oxid siřičitý	0,00	%
$H_2O$	Voda	11,04	%
$N_2$	Dusík	70,04	%
$O_2$	Kyslík	9,87	%
$n$	Přibližný výpočet součinitele přebytku vzduchu z poměru $CO_{2max}$ a $CO_2$	2,40	

#### Příloha 4: Pelety dřevní (A1) – Kulda

<b>W</b>	Veškerá voda v původním vzorku	0,0742	$kg \cdot kg^{-1}$
<b>W</b>	Veškerá voda přepočtová	0	$kg \cdot kg^{-1}$
<b>C</b>	Množství uhlíku v původním vzorku	0,4735	$kg \cdot kg^{-1}$
<b>H</b>	Množství vodíku v původním vzorku	0,0626	$kg \cdot kg^{-1}$
<b>O</b>	Množství kyslíku v původním vzorku	0,385	$kg \cdot kg^{-1}$
<b>S</b>	Množství síry v původním vzorku	0,0001	$kg \cdot kg^{-1}$
<b>N</b>	Množství dusíku v původním vzorku	0,0008	$kg \cdot kg^{-1}$
<b>A</b>	Množství popele v původním vzorku	0,0038	$kg \cdot kg^{-1}$
	Suma	100,000	%
<b>C</b>	Hmotnostní podíl uhlíku v palivu	51,145	%
<b>H</b>	Hmotnostní podíl vodíku v palivu	6,762	%
<b>O</b>	Hmotnostní podíl kyslíku v palivu	41,586	%
<b>S</b>	Hmotnostní podíl síry v palivu	0,011	%
<b>N</b>	Hmotnostní podíl dusíku v palivu	0,086	%
<b>A</b>	Hmotnostní podíl popele v palivu	0,410	%
	Suma	100,000	%

$\alpha(W_i)$	$\alpha(C_i)$	$\alpha(H_i)$	$\alpha(O_i)$	$\alpha(S_i)$	$\alpha(N_i)$	
Veškerá voda v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl uhlíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl vodíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl kyslíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl síry v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Hmotnostní podíl dusíku v palivu (kg.kg <sup>-1</sup> )	Přepočet výhřevnosti paliva podle ČSN 44 1352 (kJ.kg <sup>-1</sup> )
0	0,511449557	0,067617196	0,416731475	1,08015E-05	8,64118E-05	7520,343647
0,01	0,506335062	0,066941024	0,412564161	1,06935E-05	8,55476E-05	7445,115791
0,02	0,501220566	0,066264852	0,408396846	1,05854E-05	8,46835E-05	7369,887934
0,03	0,49610607	0,06558868	0,404229531	1,04774E-05	8,38194E-05	7294,660078
0,04	0,490991575	0,064912508	0,400062216	1,03694E-05	8,29553E-05	7219,432221
0,05	0,485877079	0,064236336	0,395894902	1,02614E-05	8,20912E-05	7144,204365
0,06	0,480762584	0,063560164	0,391727587	1,01534E-05	8,1227E-05	7068,976508
0,07	0,475648088	0,062883992	0,387560272	1,00454E-05	8,03629E-05	6993,748652
0,08	0,470533593	0,06220782	0,383392957	9,93735E-06	7,94988E-05	6918,520795
0,09	0,465419097	0,061531648	0,379225643	9,82934E-06	7,86347E-05	6843,292939
0,1	0,460304601	0,060855476	0,375058328	9,72132E-06	7,77706E-05	6768,065082
0,11	0,455190106	0,060179304	0,370891013	9,61331E-06	7,69065E-05	6692,837226
0,12	0,45007561	0,059503132	0,366723698	9,50529E-06	7,60423E-05	6617,609369
0,13	0,444961115	0,05882696	0,362556384	9,39728E-06	7,51782E-05	6542,381513
0,14	0,439846619	0,058150789	0,358389069	9,28926E-06	7,43141E-05	6467,153656
0,15	0,434732124	0,057474617	0,354221754	9,18125E-06	7,345E-05	6391,9258
0,16	0,429617628	0,056798445	0,350054439	9,07323E-06	7,25859E-05	6316,697943
0,17	0,424503132	0,056122273	0,345887125	8,96522E-06	7,17218E-05	6241,470087
0,18	0,419388637	0,055446101	0,34171981	8,8572E-06	7,08576E-05	6166,242231
0,19	0,414274141	0,054769929	0,337552495	8,74919E-06	6,99935E-05	6091,014374
0,2	0,409159646	0,054093757	0,33338518	8,64118E-06	6,91294E-05	6015,786518
0,21	0,40404515	0,053417585	0,329217866	8,53316E-06	6,82653E-05	5940,558661
0,22	0,398930655	0,052741413	0,325050551	8,42515E-06	6,74012E-05	5865,330805
0,23	0,393816159	0,052065241	0,320883236	8,31713E-06	6,6537E-05	5790,102948
0,24	0,388701663	0,051389069	0,316715921	8,20912E-06	6,56729E-05	5714,875092
0,25	0,383587168	0,050712897	0,312548607	8,1011E-06	6,48088E-05	5639,647235
0,26	0,378472672	0,050036725	0,308381292	7,99309E-06	6,39447E-05	5564,419379
0,27	0,373358177	0,049360553	0,304213977	7,88507E-06	6,30806E-05	5489,191522
0,28	0,368243681	0,048684381	0,300046662	7,77706E-06	6,22165E-05	5413,963666
0,29	0,363129186	0,048008209	0,295879348	7,66904E-06	6,13523E-05	5338,735809
0,3	0,35801469	0,047332037	0,291712033	7,56103E-06	6,04882E-05	5263,507953
0,31	0,352900194	0,046655865	0,287544718	7,45301E-06	5,96241E-05	5188,280096
0,32	0,347785699	0,045979693	0,283377403	7,345E-06	5,876E-05	5113,05224
0,33	0,342671203	0,045303521	0,279210089	7,23698E-06	5,78959E-05	5037,824383
0,34	0,337556708	0,044627349	0,275042774	7,12897E-06	5,70318E-05	4962,596527
0,35	0,332442212	0,043951177	0,270875459	7,02095E-06	5,61676E-05	4887,368671
0,36	0,327327717	0,043275005	0,266708144	6,91294E-06	5,53035E-05	4812,140814
0,37	0,322213221	0,042598833	0,26254083	6,80493E-06	5,44394E-05	4736,912958
0,38	0,317098725	0,041922661	0,258373515	6,69691E-06	5,35753E-05	4661,685101
0,39	0,31198423	0,04124649	0,2542062	6,5889E-06	5,27112E-05	4586,457245
0,4	0,306869734	0,040570318	0,250038885	6,48088E-06	5,18471E-05	4511,229388
0,41	0,301755239	0,039894146	0,245871571	6,37287E-06	5,09829E-05	4436,001532
0,42	0,296640743	0,039217974	0,241704256	6,26485E-06	5,01188E-05	4360,773675
0,43	0,291526248	0,038541802	0,237536941	6,15684E-06	4,92547E-05	4285,545819
0,44	0,286411752	0,03786563	0,233369626	6,04882E-06	4,83906E-05	4210,317962

0,45	0,281297256	0,037189458	0,229202312	5,94081E-06	4,75265E-05	4135,090106
0,46	0,276182761	0,036513286	0,225034997	5,83279E-06	4,66623E-05	4059,862249
0,47	0,271068265	0,035837114	0,220867682	5,72478E-06	4,57982E-05	3984,634393
0,48	0,26595377	0,035160942	0,216700367	5,61676E-06	4,49341E-05	3909,406536
0,49	0,260839274	0,03448477	0,212533052	5,50875E-06	4,407E-05	3834,17868
0,5	0,255724779	0,033808598	0,208365738	5,40073E-06	4,32059E-05	3758,950824



## 1 Stechiometrie spalovacích procesů

### 1.1 Spalování tuhých a kapalných paliv (odpadů)

Pelety dřevní - Kulda

### 1.2 Spalné teplo a výhřevnost paliv (hořlavých odpadů)

$Q_n$	Výhřevnost paliva podle ČSN 44 1352	6962,152952	kJ.kg <sup>-1</sup>
$Q_v$	Spalné teplo	8510,00	kJ.kg <sup>-1</sup>
<b>1.2.1 Spalné teplo pro tuhá a kapalná paliva</b>			
$C$	Hmotnostní podíl uhlíku v původním palivu	0,4735	kg.kg <sup>-1</sup>
$H$	Hmotnostní podíl vodíku v původním palivu	0,0626	kg.kg <sup>-1</sup>
$O$	Hmotnostní podíl kyslíku v původním palivu	0,3850	kg.kg <sup>-1</sup>
$S$	Hmotnostní podíl síry v původním palivu	0,0001	kg.kg <sup>-1</sup>
$N$	Hmotnostní podíl dusíku v původním palivu	0,0008	kg.kg <sup>-1</sup>
$W$	Obsah veškeré vody v původním palivu	0,0742	kg.kg <sup>-1</sup>
<b>1.3.1 Hmotnostní spalování</b>			
$O_{min}$	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování	1,38	kg.kg <sup>-1</sup>
$L_{min}$	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování	5,94	kg.kg <sup>-1</sup>
$L_{skut}$	Skutečné množství vzduchu pro spalování	12,48	kg.kg <sup>-1</sup>
$n$	Součinitel přebytku vzduchu	2,10	
$m_{sp}^v$	Hmotnostní množství vlhkých spalin	13,83	kg.kg <sup>-1</sup>
$m_{sp}^s$	Hmotnostní množství suchých spalin	12,69	kg.kg <sup>-1</sup>
$m_{spmin}^s$	Teoretické hmotnostní množství suchých spalin	8,22	kg.kg <sup>-1</sup>
$m_{CO_2}$	Hmotnostní množství CO <sub>2</sub>	1,74	kg.kg <sup>-1</sup>
$m_{SO_2}$	Hmotnostní množství SO <sub>2</sub>	0,00	kg.kg <sup>-1</sup>

$m_{H_2O}$	Hmotnostní množství $H_2O$	1,14	$kg \cdot kg^{-1}$
$m_{N_2}$	Hmotnostní množství $N_2$	9,42	$kg \cdot kg^{-1}$
$m_{O_2}$	Hmotnostní množství $O_2$	1,52	$kg \cdot kg^{-1}$
$m_{Ar}$	Hmotnostní množství Ar	0,02	$kg \cdot kg^{-1}$
<b>1.3.2 Vyjádření jednotlivých složek spalin v %</b>			
$CO_{2max}$	Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách	21,12	%
$SO_{2max}$	Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalinách	0,00	%
$CO_2$	Oxid uhličitý	12,60	%
$SO_2$	Oxid siřičitý	0,00	%
$H_2O$	Voda	8,22	%
$N_2$	Dusík	68,10	%
$O_2$	Kyslík	10,96	%
<b>1.4.1 Objemové spalování</b>			
$O_{min}$	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování	0,96	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$L_{min}$	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování	4,58	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$L_{skut}$	Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování	9,61	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$n$	Součinitel přebytku vzduchu	2,10	
$V_{sp}^v$	Objemové množství vlhkých spalin	10,70	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{sp}^s$	Objemové množství suchých spalin	9,53	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{spmin}^s$	Teoretické objemové množství suchých spalin	4,45	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{CO_2}$	Objemové množství $CO_2$	0,88	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{SO_2}$	Objemové množství $SO_2$	0,00	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{H_2O}$	Objemové množství $H_2O$	1,17	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{N_2}$	Objemové množství $N_2$	7,50	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{O_2}$	Objemové množství $O_2$	1,06	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{Ar}$	Objemové množství Ar	0,09	$m^3 \cdot kg^{-1}$
<b>1.4.2 Vyjádření jednotlivých složek spalin v %</b>			
$CO_{2max}$	Teoretická objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách	19,73	%
$SO_{2max}$	Teoretická objemová koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalinách	0,00	%
$CO_2$	Oxid uhličitý	8,23	%
$SO_2$	Oxid siřičitý	0,00	%
$H_2O$	Voda	10,96	%
$N_2$	Dusík	70,10	%
$O_2$	Kyslík	9,88	%
$n$	Přibližný výpočet součinitele přebytku vzduchu z poměru $CO_{2max}$ a $CO_2$	2,40	



### Příloha 5: Analýza vzorků

Vzorek	Analytický stav = původní								
Vlastnosti	Hustota	Vlhkost	Popel	C	H (vč. vody)	N	S	Spalné teplo za konst. obj.	Výhřevnost za konst. tlaku
Jednotky	kg.m <sup>-3</sup>	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	MJ.kg <sup>-1</sup>	MJ.kg <sup>-1</sup>
<b>Pelety řepka – všechny vzorky</b>	1219,1	10,20	4,39	35,60	6,54	1,68	0,14	16,50	15,07
SO		0,33	1,71	12,16	0,23	0,207	0,014	0,266	
RSO		3,23%	39,00%	34,16%	3,57%	12,36%	10,23%	1,61%	
PDM	3	8	8	6	6	6	4	6	
<b>Pelety řepka tmavé</b>	1276,3	9,85	5,53	40,54	6,33	1,51	0,13	16,43	15,05
SO		0,15	0,24	0,35	0,07	0,057	0,015	0,03	
RSO		1,53%	4,34%	0,85%	1,10%	3,77%	11,14%	0,16%	
PDM	3	3	3	3	3	3	2	3	
<b>Pelety řepka světlé</b>	1161,9	10,45	2,35	40,67	6,75	1,85	0,15	16,57	15,09
SO		0,23	0,24	0,15	0,01	0,137	0,005	0,402	
RSO		2,17%	10,22%	0,36%	0,18%	7,42%	3,01%	2,43%	
PDM	3	3	3	3	3	3	2	3	
<b>Pelety piliny</b>	1204,5	8,50	0,32	46,28	6,27	0,08	0,01	18,78	17,41
SO		0,19	0,03	0,13	0,08	0,033	0,000	0,527	
RSO		2,24%	8,33%	0,29%	1,22%	43,46%	7,56%	2,81%	
PDM	3	5	5	3	3	3	2	3	
<b>Pelety dřevní ecovest</b>	1166,4	7,46	0,45	46,94	6,28	0,08	0,01	18,91	17,54
SO		0,27	0,20	0,11	0,04	0,019	0,003	0,08	
RSO		3,68%	44,55%	0,24%	0,66%	24,82%	38,75%	0,40%	
PDM	3	5	5	3	3	3	2	3	
<b>Pelety dřevní kulda</b>	1213,5	7,42	0,38	47,35	6,26	0,08	0,01	18,85	17,48
SO		0,21	0,03	0,27	0,03	0,008	0,000	0,021	
RSO		2,87%	8,11%	0,56%	0,55%	9,45%	1,25%	0,11%	
PDM	3	5	5	3	3	3	2	3	

Výhřevnost dle

ISO 1928

N, S pod intervalem kalibrace (kromě řepkových pelet - hodnoty nutno brát spíše orientačně)

SO – standardní odchylka RSO – relativní stand. odchylka PDM – počet dobrých měření

Suchý stav									
Popel	C	H	N	S	O	Prchavá hořlavina	Spalné teplo za konst. obj.	Spalné teplo za konst. tlaku	Výhřevnost za konst. tlaku
% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	MJ.kg <sup>-1</sup>	MJ.kg <sup>-1</sup>	MJ.kg <sup>-1</sup>
4,88	39,65	6,01	1,87	0,16	47,43	79,83	18,37	18,37	17,06
						0,97			
						1,21%			
						8			
6,13	44,96	5,80	1,67	0,14	41,28	78,97	18,22	18,22	16,96
						0,53			
						0,67%			
						3			
2,62	45,42	6,23	2,07	0,17	43,49	80,77	18,50	18,50	17,14
						0,31			
						0,38%			
						3			
0,35	50,58	5,81	0,08	0,01	43,17	84,62	20,52	20,52	19,26
						0,42			
						0,50%			
						5			
0,48	50,72	5,89	0,08	0,01	42,82	84,45	20,43	20,43	19,15
						0,56			
						0,66%			
						5			
0,41	51,15	5,87	0,09	0,01	42,48	84,35	20,36	20,36	19,08
						0,60			
						0,71%			
						5			

Hořlavina							
C	H	N	S	O	Prchavá hořlavina	Spalné teplo	Výhřevnost
% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	MJ.kg <sup>-1</sup>	MJ.kg <sup>-1</sup>
41,69	6,32	1,97	0,16	49,86	83,93	19,31	17,93
47,90	6,18	1,78	0,15	43,98	84,13	19,42	18,07
46,64	6,40	2,12	0,17	44,66	82,95	19,00	17,60
50,76	5,83	0,08	0,01	43,32	84,92	20,60	19,32
50,97	5,92	0,08	0,01	43,02	84,86	20,53	19,24
51,36	5,89	0,09	0,01	42,65	84,70	20,45	19,16

## Příloha 6: Základní veličiny u teplovodních a nízkotlakých parních kotlů

ČSN 07 0240 Teplovodní a nízkotlaké parní kotle							
Typ	Spalování pelet v původním stavu na zařízení pro spalování dřevního odpadu G 190 kW J					Jednotka	
$Q_v$	Spalné teplo					8510,00	$\text{kJ.kg}^{-1}$
$q_n$	Výhřevnost paliva při 20°C					6962152,95	$\text{J.kg}^{-1}$
$P_k$	Tepelný výkon spalovacího zařízení - požadovaná hodnota					10000,00	W
$\eta$	Účinnost kotle - požadovaná hodnota					90,00	%
$P_p$	Tepelný příkon kotle					11110,81	W
$P_k$	$\eta$	$m_{pv}, W=k$	$m_{pv}, n=k$	$P_p, W=k$	$P_p, n=k$	$P_p, W=k$	
(W)	(%)	( $\text{kg.s}^{-1}$ ) v hodinách	( $\text{kg.s}^{-1}$ )	(W)	(W)	(W)	
10000,00	90,00	5,745349215	0,001477474	39997425,82	11111,07021	40000000	
11000,00	90,00	6,319884137	0,001641643	43996673,71	12222,17677	44000000	
12000,00	90,00	6,894419058	0,001809164	47995786,22	13333,28325	48000000	
13000,00	90,00	7,46895398	0,001980139	51994752	14444,38962	52000000	
14000,00	90,00	8,043488902	0,002154679	55993559,69	15555,4959	56000000	
15000,00	90,00	8,618023823	0,002332893	59992197,94	16666,60208	60000000	
16000,00	90,00	9,192558745	0,002514901	63990655,4	17777,70815	64000000	
17000,00	90,00	9,767093666	0,002700825	67988920,69	18888,81412	68000000	
18000,00	90,00	10,34162859	0,002890791	71986982,47	19999,91997	72000000	
19000,00	90,00	10,91616351	0,003084935	75984829,38	21111,0257	76000000	
20000,00	90,00	11,49069843	0,003283394	79982450,06	22222,13132	80000000	
21000,00	90,00	12,06523335	0,003486314	83979833,15	23333,23682	84000000	
22000,00	90,00	12,63976827	0,003693848	87976967,31	24444,34218	88000000	
23000,00	90,00	13,2143032	0,003906155	91973841,16	25555,44741	92000000	
24000,00	90,00	13,78883812	0,004123401	95970443,36	26666,55251	96000000	
25000,00	90,00	14,36337304	0,00434576	99966762,55	27777,65747	100000000	
26000,00	90,00	14,93790796	0,004573416	103962787,4	28888,76228	104000000	
27000,00	90,00	15,51244288	0,00480656	107958506,5	29999,86693	108000000	
28000,00	90,00	16,0869778	0,005045392	111953908,5	31110,97143	112000000	
29000,00	90,00	16,66151272	0,005290124	115948982	32222,07577	116000000	
30000,00	90,00	17,23604765	0,005540977	119943715,8	33333,17994	120000000	
31000,00	90,00	17,81058257	0,005798183	123938098,4	34444,28393	124000000	
32000,00	90,00	18,38511749	0,006061986	127932118,5	35555,38773	128000000	
33000,00	90,00	18,95965241	0,006332645	131925764,8	36666,49135	132000000	
34000,00	90,00	19,53418733	0,006610429	135919025,8	37777,59477	136000000	
35000,00	90,00	20,10872225	0,006895624	139911890,2	38888,69799	140000000	
36000,00	90,00	20,68325718	0,007188531	143904346,7	39999,80099	144000000	
37000,00	90,00	21,2577921	0,007489466	147896383,9	41110,90377	148000000	
38000,00	90,00	21,83232702	0,007798763	151887990,5	42222,00632	152000000	
39000,00	90,00	22,40686194	0,008116778	155879155	43333,10863	156000000	
40000,00	90,00	22,98139686	0,008443883	159869866,2	44444,21069	160000000	
41000,00	90,00	23,55593178	0,008780473	163860112,6	45555,31248	164000000	
42000,00	90,00	24,1304667	0,009126968	167849883	46666,414	168000000	
43000,00	90,00	24,70500163	0,009483812	171839165,9	47777,51523	172000000	
44000,00	90,00	25,27953655	0,009851474	175827950,1	48888,61617	176000000	
45000,00	90,00	25,85407147	0,010230454	179816224	49999,71679	180000000	
46000,00	90,00	26,42860639	0,010621283	183803976,5	51110,81708	184000000	
47000,00	90,00	27,00314131	0,011024526	187791196,1	52221,91703	188000000	
48000,00	90,00	27,57767623	0,011440784	191777871,5	53333,01662	192000000	
49000,00	90,00	28,15221116	0,011870697	195763991,4	54444,11583	196000000	
50000,00	90,00	28,72674608	0,012314948	199749544,2	55555,21464	200000000	

