

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra technologických zařízení staveb**



**Diplomová práce**

**Návrh technologie na využití dřevní biomasy pro výrobu  
tepelné a elektrické energie**

**Bc. Lenka Procházková**

© 2023 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Lenka Procházková

Technologická zařízení staveb  
Zařízení v agropotravinářském komplexu

Název práce

**Návrh technologie na využití dřevní biomasy pro výrobu tepelné a elektrické energie**

Název anglicky

**Design of technology for the use of wood biomass for the production of heat and electricity**

---

### Cíle práce

Cíle diplomové práce vycházejí z literární rešerše současné problematiky využití dřevní biomasy pro výrobu tepelné a elektrické energie. Metodický postup práce bude vycházet z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců, charakteristiky legislativy v dané oblasti energetického využití dřevní biomasy, popisu a návrhu technologie a techniky vhodné ke zpracování a využití dřevní biomasy. Praktická část práce zahrnuje analýzu technologických zařízení na využití dřevní biomasy pro výrobu tepelné a elektrické energie. Bude uskutečněn návrh technologie na využití dřevní biomasy s ekonomickým posouzením. Student vypracuje posouzení návrhu s ohledem na fyzikálně-chemické vlastnosti dřevní biomasy.

### Metodika

Diplomová práce se bude skládat z těchto částí:

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**

50-60

**Klíčová slova**

Biomasa, zplyňování, kalorimetr, prvkový rozbor, výhřevnost

---

**Doporučené zdroje informací**

- Malaták, J.; Jevič, P.; Vaculík, P.: Účinné využití tuhých biopaliv v malých spalovacích zařízeních s ohledem na snižování emisí znečišťujících látek. 2010, Powerprint, Praha, 240 str., ISBN 978-80-87415-02-3
- Malaták, J.; Vaculík, P.: Biomasa pro výrobu energie. ČZU v Praze, Technická fakulta, tisk. Powerprint, Praha 2008, 206 s., ISBN: 978-80-213-1810-6
- Malaták, J.; Velebil, J.; Jankovský, M.; Tamelová, B.; Malatáková, J.; J. Passian, L. Aplikace zplyňovacích technologií při energetickém využití jehličnatých dřevin z kůrovcové a kalamitní těžby. Praha: Lesy České republiky, s. p., Hradec Králové, 2020, 270s.
- Obroučka, K.: Termické zneškodňování odpadů. VŠB Ostrava, Ostrava 1997, 140 s., ISBN 80-248-0009-8
- Pastorek, Z.; Kára, J.; Jevič, P.: Biomasa – obnovitelný zdroj energie, nakladatelství FCC Public, Praha 2004, 284 str., ISBN 80-86534-06-5

---

**Předběžný termín obhajoby**

2022/2023 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Jan Malaták, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra technologických zařízení staveb

---

Elektronicky schváleno dne 8. 11. 2021

**doc. Ing. Jan Malaták, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 26. 02. 2023

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Návrh technologie na využití dřevní biomasy pro výrobu tepelné a elektrické energie vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, 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 vědoma, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědoma že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne

: .....

## Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu doc. Ing. Janu Malat'ákovi, Ph.D., za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této bakalářské práce. Současně bych chtěla poděkovat Katedře technologických zařízení staveb za umožnění měření v laboratořích Technické fakulty. A dále bych ráda poděkovala rodině a přátelům za podporu při studiu na vysoké škole.

**Abstrakt:** Diplomová práce se zabývá problematikou využití dřevní biomasy pro výrobu tepelné a elektrické energie. Cílem práce je vypracovat návrh technologie na využití dřevní biomasy pro výrobu tepelné a elektrické energie. V teoretické části je uvedena charakteristika biomasy, její vlastnosti, rozdělení a možnosti zpracování. Dále tato práce popisuje proces zplyňování a zplyňovací technologie, které jsou rozděleny podle jejich konstrukce. Zabývá se i výstupními produkty zplyňování, jimiž jsou energoplyn, a nežádoucí látky. Praktická část práce je rozdělena do více kapitol. První kapitola je zaměřena na návrh zplyňovací technologie pro vybraný objekt, kde je provedeno výběrové řízení na základě daných kritérií vycházejících ze stavby, pro kterou je technologie navržena. Ve druhé kapitole je provedeno měření vybrané dřevní biomasy, u které jsou stanoveny základní palivářské vlastnosti pomocí prvkové a stechiometrické analýzy. Naměřené výsledky ukazují, že výhřevnost u všech osmi měřených vzorků se pohybuje mezi 17,22 a 18,72 MJ.kg<sup>-1</sup> a obsah popela není vyšší než 1 % hm. Poslední kapitolou je technickoekonomické zhodnocení návrhu technologie na využití dřevní biomasy, kde jsou posouzeny výsledky měření, zvolené parametry vybrané zplyňovací jednotky a celková investice.

**Klíčová slova:** biomasa, zplyňování, kalorimetr, prvkový rozbor, výhřevnost

## **Design of technology for the use of wood biomass for the production of heat and electricity**

**Summary:** The diploma thesis deals with the issue of the use of wood biomass for the production of thermal and electrical energy. The goal of the thesis is to develop a technology proposal for the use of wood biomass for the production of thermal and electrical energy. The theoretical part describes the characteristics of biomass, its properties, distribution and processing options. Furthermore, this work describes the gasification process and gasification technology, which are divided according to their construction. It also deals with the output products of gasification, which are energy gas, and unwanted substances. The practical part of the thesis is divided into several chapters. The first chapter is focused on the design of the gasification technology for the selected object, where a selection procedure is carried out based on the given criteria based on the construction for which the technology is designed. In the second chapter, the measurement of the selected wood biomass is carried out, for which the basic fuel properties are determined using elemental and stoichiometric analysis. The measured results show that the calorific value of all eight measured samples varies between 17.22 and 18.72 MJ.kg<sup>-1</sup> and the ash content is not higher than 1% wt. The last chapter is a technical-economic evaluation of the technology proposal for the use of wood biomass, where the results of the measurements, the selected parameters of the selected gasification unit and the total investment are assessed.

**Key words:** biomass, gasification, calorimeter, elemental analysis, heating value

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce a metodika .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Přehled poznatků z literatury .....</b>	<b>3</b>
3.1	Biomasa .....	3
3.2	Rozdělení biomasy.....	4
3.3	Technologické možnosti zpracování biomasy .....	6
3.3.1	Termické a termochemické procesy .....	6
3.3.2	Biochemické procesy.....	9
3.3.3	Fyzikálně-chemické procesy .....	9
3.4	Biopaliva.....	10
3.4.1	Rozdělení podle generací.....	10
3.4.2.	Rozdělení podle skupenství .....	11
3.5	Technologie zplyňování .....	12
3.5.1	Druhy reaktorů – dělení podle konstrukce .....	12
3.5.2	Energoplyn .....	16
3.5.3	Nečistoty ve vyrobeném plynu a jejich čištění .....	16
<b>4</b>	<b>Výchozí podmínky řešení.....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>Návrh řešení a dosažené výsledky .....</b>	<b>22</b>
5.1	Návrh zplyňovací jednotky .....	22
5.1.1	Výběrové řízení zplyňovací jednotky.....	23
5.1.2	Vyhodnocení výběrového řízení.....	23
5.2	Laboratorní měření .....	24
5.2.1	Předúprava vzorků.....	24
5.2.2	Zpracování a analýza vzorků.....	25
5.2.3	Měření a dosažené výsledky elementární analýzy .....	30
5.2.4	Stechiometrická analýza .....	34



5.3	Teoretický rozbor zplyňovací jednotky související s návrhem.....	39
5.3.1	Popis funkce zplyňovací jednotky .....	39
5.3.2	Požadavky vybrané zplyňovací jednotky .....	40
5.4	Ekonomické posouzení návrhu .....	41
5.4.1	Vstupní údaje pro ekonomickou analýzu .....	41
5.4.2	Použité metody finanční analýzy: .....	41
5.4.3	Výsledné hodnoty finanční analýzy .....	45
<b>6</b>	<b>Diskuse a závěry .....</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>Seznam literatury .....</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>Seznam obrázků a tabulek .....</b>	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>55</b>

# 1 Úvod

Jedním z důvodů přechodu na obnovitelné zdroje je také fakt, že v současné době, kdy nastala energetická krize způsobená nedostatkem surovinových zdrojů energie, především ropy, plynu a uhlí, se ceny energií zvedly hned několikanásobně. Dalším důvodem je přijetí evropských cílů v rámci Národního akčního plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu. Těmito cíli jsou do roku 2030 dosáhnout snížení o 30 % celkových emisí skleníkových plynů oproti roku 2005 a dále zvýšit podíl obnovitelných zdrojů energie na hrubé konečné spotřebě energie na úroveň 22 %.

[1]

Ze Státní energetické koncepce ČR vychází několik priorit, které by měly přispět k plnění evropských cílů. Hlavními prioritami pro Českou republiku jsou zachování soběstačnosti ve výrobě elektrické energie, zvýšení diverzifikace energetického mixu, zajištění dostatečného rozvoje energetické infrastruktury a snížení závislosti na dovozu. [2] Ke splnění těchto priorit by mohlo přispět rozšíření zplyňovacích technologií, které jsou již dlouho známé. Jsou zatím nejvíce rozšířené v zemích střední a jižní Evropy a v severních zemích.

Zplyňovací technologie se řadí mezi obnovitelné zdroje, protože používají přírodní suroviny, jako jsou dřevní biomasa a biogenní průmyslové zbytky, vyrábějí elektřinu a teplo a dalším využitím je výroba plyných a kapalných biopaliv z generátorového plynu. Velkou výhodou zplyňovacích technologií je regulace emisí skleníkových plynů oproti spalování pevných biopaliv a odpadní biomasy. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady a dále také standardizace zplyňovacích jednotek.

Práce je zaměřena na téma zplyňovací technologie, přesněji na její vstupy a výstupy, které jsou posuzovány dle určitých parametrů. Hlavním vstupem zplyňovačů je biomasa, jež bude laboratorně zkoumána pomocí několika analýz, výstupů může být hned několik. V této práci se budeme zabývat obzvlášť vyprodukovanou tepelnou a elektrickou energií. Projekt bude zakončen ekonomickým posouzením, kde základním ukazatelem je návratnost celkové investice a dlouhodobá udržitelnost fungování zplyňovací jednotky.

## 2 Cíl práce a metodika

Hlavním cílem diplomové práce je návrh technologie na využití dřevní biomasy pro výrobu tepelné a elektrické energie. První část práce má seznámit s problematikou využití biomasy, s jejím složením a rozdělením, s technologickými možnostmi využití biomasy, především s technologií zplyňování.

V praktické části je cílem uskutečnit analýzu technologických zařízení na využití dřevní biomasy pro výrobu tepelné a elektrické energie. Bude realizován návrh technologie na využití dřevní biomasy s ekonomickým posouzením. Výstupem bude posouzení návrhu s ohledem na fyzikálně-chemické vlastnosti dřevní biomasy.

Metodický postup práce bude vycházet z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců, charakteristiky legislativy v dané oblasti energetického využití dřevní biomasy. V praktické části bude představen objekt a jeho teoretická spotřeba na vytápění a užívání objektu, pro který bude uskutečněn návrh zplyňovací technologie. Dále bude provedeno měření v laboratoři analýzy organických materiálů katedry technologických zařízení staveb, které bude zkoumat palivářské vlastnosti u devíti vybraných vzorků dřevní biomasy. U těchto vzorků budou stanoveny elementární analýza (obsah uhlíku, vodíku, dusíku a síry), obsah popela, obsah vlhkosti, hodnoty spalného tepla a výhřevnosti. Po měření se provedou stechiometrické výpočty pro proces zplyňování. Následně budou naměřené hodnoty porovnány s požadavky vybraných zplyňovačů různých dodavatelů o určitém výkonu, který bude vyhovovat energetické náročnosti vybrané budovy. U zvolených zplyňovacích jednotek bude uskutečněno výběrové řízení a vybrána nejvhodnější varianta, u které bude i popis technologie zplyňování zplyňovacího reaktoru. Celá praktická část bude zakončena ekonomickým posouzením.

## 3 Přehled poznatků z literatury

### 3.1 Biomasa

Pod slovem biomasa si každý může představit úplně něco jiného a každá představa může být správná. V legislativě můžeme najít definici biomasy hned v několika předpisech, například:

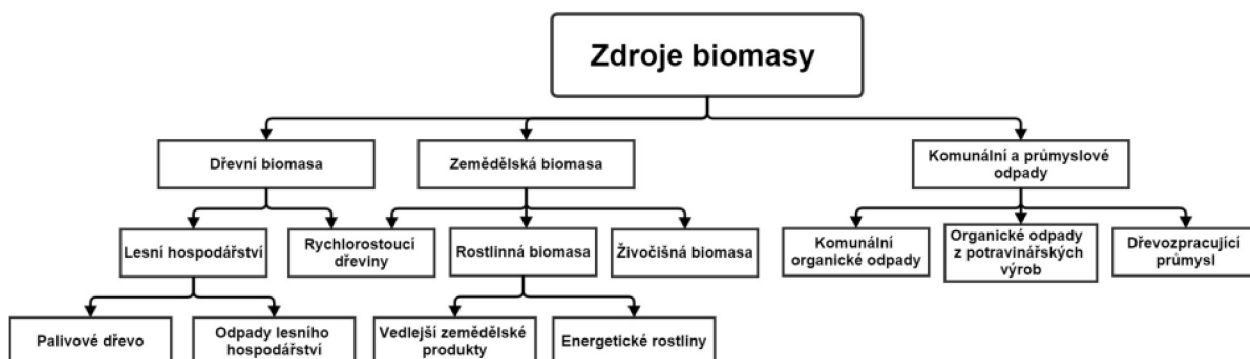
- v zákoně č. 165/2012 Sb. se rozumí: „biomasou biologicky rozložitelná část produktů, odpadů a zbytků biologického původu ze zemědělství, z lesnictví a souvisejících odvětví a z rybolovu a akvakultury, včetně rostlinných a živočišných látek, jakož i biologicky rozložitelná část odpadů, včetně průmyslových a komunálních odpadů biologického původu, přičemž zemědělská biomasa je biomasa vyrobená v zemědělství a lesní biomasa je biomasa vyrobená v lesnictví“. [3]
- dle směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 2018/2001 je „biomasa biologicky rozložitelná část produktů, odpadů a zbytků biologického původu ze zemědělství, z lesnictví a souvisejících odvětví a z rybolovu a akvakultury, včetně rostlinných a živočišných látek, jakož i biologicky rozložitelná část odpadů, včetně průmyslových a komunálních odpadů biologického původu“. [4]

Biomasa je tedy organický materiál rostlinného nebo živočišného původu, který je následně použit jako surovina pro výrobu energie. Biomasu lze získat z několika odvětví, například z: lesnictví, zemědělství, potravinářské výroby a z komunálního odpadu.

Biomasu lze zařadit mezi nejdůležitější a nejrozšířenější zdroje nejen energie, dále lze biomasu využít k výrobě stavebních materiálů, papíru, léků, chemikálií a především paliva. Pro pohon motorových vozidel lze použít kapalné, ale i plynné skupenství biomasy. Rozmanitost biomasy je velkou výhodou pro využití v energetice, především pro výrobu tepla a výrobu elektrické energie, kterou lze vyrábět pomocí současných spalovacích a zplyňovacích zařízení. [5]

## 3.2 Rozdělení biomasy

Zdroje a rozdělení biomasy jsou znázorněny na obrázku 1.



Obrázek 1: Zdroje vzniku biomasy [5]

### Dřevní biomasa

Dřevo je obnovitelný materiál vyprodukovaný v lese. Proces obnovení lesů lze srovnat s délkou lidského života, tudíž je les považován za krátkodobě se obnovující systém. Dřevní biomasa je velmi oblíbená, a to především proto, že nevzniká nezpracovatelný odpad. Vedlejšími produkty při zpracování dřevní biomasy například jsou:

- štěpky,
- piliny,
- sekané dýhy,
- zbytková kulatina,
- odřezky.

Z těchto sekundárních produktů jsou vyráběny aglomeráty – dřevotřískových desek, MDF desek, HDF desek či OSB desek.

Rozdělení dřevní biomasy:

- lesní a plantážní dřevo (celé stromy, kulatina, zbytky po těžbě dřeva, polena, kůra z lesních prací, dřevní biomasa z údržby krajiny),
- dřevozpracující průmysl, vedlejší produkty a zbytky (chemicky neošetřené dřevěné zbytky, chemicky ošetřené dřevěné zbytky, vláknité odpady rostlinného původu z celulózového a papírenského průmyslu),

- použité dřevo (chemicky neošetřené dřevo, chemicky ošetřené dřevo). [5]

Na obrázku 2 jsou uvedeny hodnoty výhřevností vybraných druhů dřevní biomasy.

Dřevní biomasa	Výhřevnost [kJ·kg <sup>-1</sup> ]	Prostorový přepočítací koeficient
Dřevní štěpka	10 509	0,4
Piliny	10 511	0,3
Průmyslové odřezky vznikající při výrobě lepených dřevěných desek	16 000	0,71
Průmyslové odřezky vznikající při zpracování kulatiny.	10 500	0,55
Zbytková kulatina	10 520	0,77

Obrázek 2: Výhřevnost vybraných druhů dřevní biomasy [5]

### Fytomasa – bylinná biomasa

Bylinná biomasa neboli fytomasa je biomasa z rostlin, které jsou dužnaté (nedřevnaté) a zanikají na konci vegetačního období.

Rozdělení fytomasy:

- zemědělské a zahradní byliny (obilniny, trávy, olejniny na semeno, kořeniny, luštěniny, květiny, bylinná biomasa z údržby krajiny),
- vedlejší produkty a zbytky (chemicky neošetřené zbytky, chemicky ošetřené zbytky),
- směsi a příměsi.

Velmi oblíbenou zemědělskou biomasou je sláma (obilná, řepková, slunečnicová, kukuřičná), která se jako palivo používá ve formě balíků. Sláma má mnoho výhod, jimiž jsou vysoká výhřevnost (15 MJ.kg<sup>-1</sup>) a nízké výrobní náklady na 1 tunu. [5]

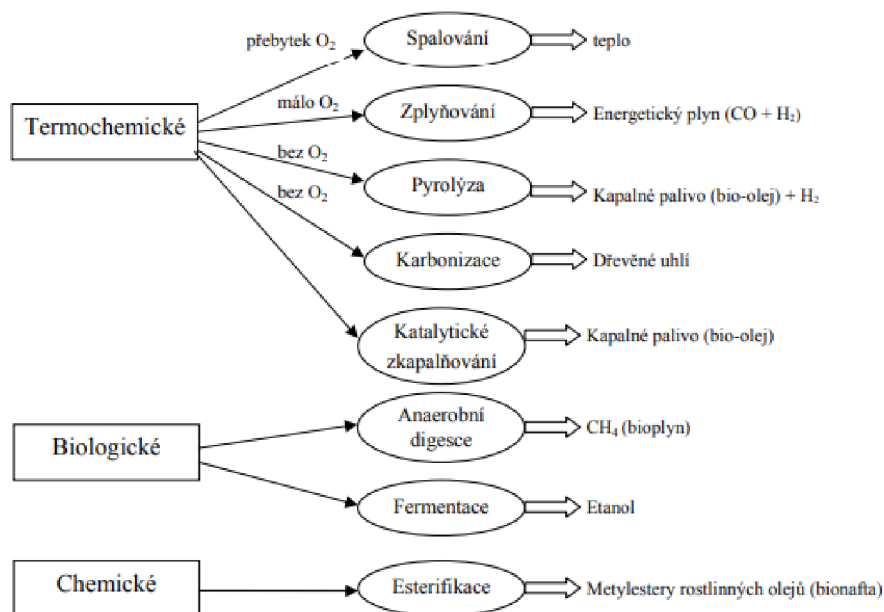
### Ovocná biomasa

Tento druh biomasy reprezentují části rostlin obsahující semena. Patří sem například:

- sadové a zahradnické plody (boule, jádroviny, ořechy),
- vedlejší produkty a zbytky pocházející ze zpracování ovoce (chemicky neošetřené ovocné zbytky, chemicky ošetřené ovocné zbytky),
- směsi a příměsi. [5]

### 3.3 Technologické možnosti zpracování biomasy

Pomocí vhodné technologie lze z biomasy vyrobit biopalivo nebo teplo či elektrickou energii. Na obrázku 3 jsou popsány základní technologie zpracování biomasy, které se rozdělují na procesy termochemické, biologické a chemické. U všech technologií jsou uvedeny i výchozí produkty daných procesů zpracovávajících biomasu.



Obrázek 3: Základní procesy a technologie přeměny biomasy [6]

#### 3.3.1 Termické a termochemické procesy

##### Spalování

Spalování řadíme mezi nejčastější technologie zpracování biomasy. Při tomto termickém procesu dochází k exotermickým chemickým reakcím. Oxidace biomasy musí probíhat za dostatečného přístupu kyslíku, díky kterému dochází k dokonalému spalování a uvolňování velkého množství tepla. Samotný proces spalování probíhá ve spalovací komoře, která se nachází v kotlech nebo kamnech. Vyprodukované teplo je odváděno do výměníku kotle a dále předáno teplonosnému médiu. [6] [7]

##### Karbonizace

Karbonizace se řadí mezi termické přeměny, jimiž se vyrábí dřevěné uhlí. Proces karbonizace probíhá za nepřístupu vzduchu a dochází k odstranění těkavých složek, které jsou obsaženy ve dřevě. Ve výsledném produktu je zvýšený obsah uhlíku a snížená koncentrace kyslíku

a vodíku. Tato metoda zpracování tuhé biomasy je nejdéle používanou technologií pro energetické účely. [6], [8]

### **Pyrolýza**

Další technologií řadící se do termických procesů je pyrolýza. Ta také probíhá za nepřístupu vzduchu stejně jako karbonizace. Při pyrolýzním procesu dochází k rozkladu organických látek na nízkomolekulární sloučeniny, nejprve se však musí materiál ohřát nad mez termické stability přítomných organických sloučenin, což vede k jejich štěpení až na stále nízkomolekulární produkty a tuhý zbytek. Pyrolýzní procesy lze provádět při několika teplotách, jsou rozděleny podle dosahované teploty na:

- nízkoteplotní (< 500 °C),
- středněteplotní (500–800 °C),
- vysokoteplotní (> 800 °C).

Při pyrolýze může vznikat více produktů, kterými mohou být například u dřeva dřevěné uhlí, biouhlí u ostatní biomasy a hlavním produktem je pyrolýzní plyn, jenž může být využíván jako palivo pro motory nebo plynové turbíny kogeneračních jednotek.

Jednou z nejnovějších technologií, která má velice dobré vyhlídky do budoucna, je tzv. rychlá pyrolýza. Rychlá pyrolýza mění především dřevní biomasu, ale i další odpadní biomasu na produkty, které získají velice dobrou energetickou úroveň pro získávání tepla nebo elektrické energie. Těmito produkty mohou být například plyny, kapaliny, ale i pevné látky.

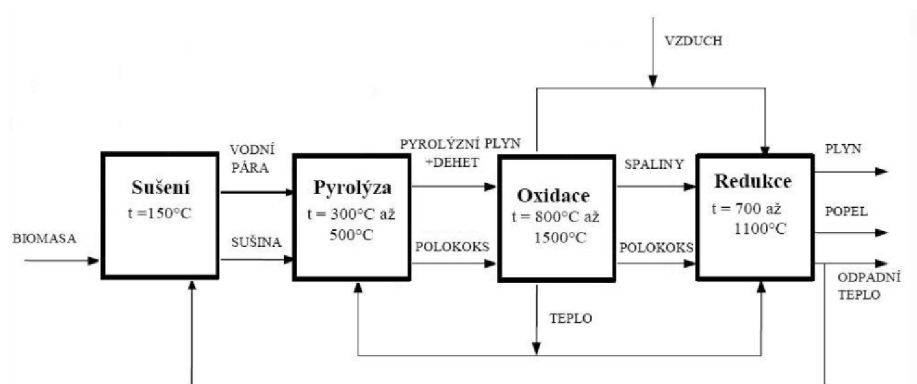
Při rychlé pyrolýze dochází k rychlému dodání tepla do materiálu k vytvoření výsledného produktu, dále je udržována teplota (450 °C až 600 °C) v pyrolýzním reaktoru a materiál zůstává po dobu asi 2 sekund v reakční zóně. Výsledným produktem jsou páry a aerosoly, které dále doprovází i plyn a pevné částice. Produkty rychlé pyrolýzy se následně ochlazují, tím dojde ke kondenzaci a vznikne kapalná látka o nízké viskozitě – bioolej. [6], [7]

### **Zplyňování**

Podstatou další technologie – zplyňování – je přeměna organického materiálu na plyn, tato technologie se řadí mezi termochemické přeměny biomasy. Zplyňování zahrnuje několik procesů (viz obrázek 4), které probíhají při vyšších teplotách a za přívodu omezeného množství kyslíku. První fází je sušení. Při sušení se začíná ohřívat palivo a odpařuje se vázaná voda. Druhou fází je pyrolýza, při které dochází k tepelnému rozkladu paliva na plynné složky,



kondenzující páry, polokoks a dále začíná tepelné štěpení par na plyn a pevný uhlík. Ve třetí fázi nastává oxidace, při níž se oxidují hořlavé plyny a uhlík. Poslední, čtvrtou fází je redukce. Při redukci nastává zplyňování pevného uhlíku párou nebo oxidem uhličitým. [6], [7]



Obrázek 4: Základní princip zplyňování [9]

Všechny fáze zplyňování jsou ovlivňovány těmito faktory:

- provozní teplotou a teplotním profilem v reaktoru,
- provozním tlakem v reaktoru,
- obsahem vlhkosti v palivu a zplyňovacím médiem,
- reakčním povrchem,
- dobou setrvání složek v reaktoru.

### Katalytické zkapalňování

Katalytické zkapalňování označované také jako hydrolýza se řadí mezi termochemické procesy a je jedním z nejkvalitnějších procesů, a to především díky tomu, že dokáže produkovat kvalitnější produkty s vyšší energetickou hustotou. Hydrolýza je nízkoteplotní vysokotlaký proces, který probíhá ve vodním prostředí při teplotě  $300^{\circ}\text{C}$  až  $350^{\circ}\text{C}$  a tlaku 12–20 MPa. Katalyzátor nebo také vysoký parciální tlak vodíku musí být použit pro správné vytvoření podmínek chemické reakce. Hlavním produktem hydrolýzy je organická kapalina – bio-olej, který má snížený obsah kyslíku, a dalším výstupním produktem je voda, obsahující rozpustné organické látky. [6]

### 3.3.2 Biochemické procesy

#### Anaerobní digesce

Anaerobní digesce nebo také anaerobní fermentace, anaerobní stabilizace či anaerobní vyhnívání je jedním z procesů biochemické přeměny biomasy. Tento proces je označován jako kontrolovaná mikrobiální přeměna organických látek (biologicky rozložitelné složky komunálního odpadu, složek zvířecích exkrementů, organických kalů v čistírnách odpadních vod a jiné vhodné biomasy) bez přístupu vzduchu při teplotě 35 °C až 45 °C, při které vznikne bioplyn a digestát. Digestát musí splňovat kvalitativní požadavky vyhlášky o biologických metodách zpracování biologicky rozložitelných odpadů. [6]

#### Alkoholová fermentace

Alkoholová fermentace je založena na principu kvašení glukózy, kterou popisuje rovnice 1. Kvašení musí probíhat za určitých podmínek. Mezi ty důležité patří například teplota (27 °C až 32 °C), hodnota pH (4–6), obsah růstových látek, koncentrace rozpuštěného kyslíku, koncentrace a aktivita kvasinek, přítomnost kontaminace aj. Etanol se především používá v potravinářském průmyslu, ale využívá se i pro energetické účely jako příměs do paliv pro spalovací motory. [7]



### 3.3.3 Fyzikálně-chemické procesy

#### Esterifikace

Esterifikace je technologie zpracování rostlinných olejů především pro použití vznětových motorů. Proces je založen na separaci oleje z olejnatých rostlin ve dvou stupních. Nejdříve semena olejnatých rostlin projdou ohřevem při teplotě 80 °C až 90 °C, následně se namelou v centrálních mlýnech a dále se namletá semena ještě lisují. Po lisování se uvolní asi 50 % obsaženého oleje, který se dále separuje pomocí rozpouštědel v extraktoru. Oleje tvoří z 98 % triglyceridy, ze kterých je možné vyrábět metylestery mastných kyselin. Proces esterifikace je založen na katalytické reakci triglyceridu a metanolu za vzniku glycerinové a metylesterové fáze, které se následně musí rafinovat. Tím dojde k oddělení metylesterové fáze. [7]

## **3.4 Biopaliva**

Biopalivo je palivo získávané z biomasy a v následujících letech by tato paliva měla nahradit i fosilní, například: ropu, uhlí, zemní plyn a jiné. Biopaliva mohou být rozdělena dle několika hledisek, nejčastější je však dělení podle generací nebo skupenství.

### **3.4.1 Rozdělení podle generací**

#### **První generace**

Biopaliva první generace jsou biopaliva získaná z plodin pro potravinářské účely, které obsahují cukr, škrob nebo olej. Nejznámějšími biopalivy první generace jsou například bionafta a etanol. Ty se vyrábí fermentací cukrů z plodin obsahujících vysoký podíl škrobů (například: kukuřice, cukrová třtina, cukrová řepa). [11]

#### **Druhá generace**

Biopaliva této generace jsou také nazývána jako pokročilá biopaliva. Druhá generace biopaliv je vyráběna z lignocelulóзовé fytomasy a dřevní biomasy (nevyužitelné zbytky potravinářských plodin – kukuřičné nebo rýžové slupky, trávy, odpadní rostlinný olej). U této generace se biomasa nejčastěji zpracovává termochemickými procesy (zplyňování, pyrolýza a torefakce) nebo biochemickou konverzí. [12]

#### **Třetí generace**

Do třetí generace biopaliv se řadí řasy. Velkou výhodou biopaliv třetí generace je pěstování řas, lze je pěstovat ve slané i sladké vodě, ale i na pevnině, stačí jen, aby při svém růstu dostaly správnou kombinaci vitamínů, minerálů a slunečního záření. Z řas lze vyrobit biopalivo, které má vysoký energetický výnos, ale také vyšší emise skleníkových plynů, protože jeho výroba je velmi složitá a energeticky náročná. [13]

#### **Čtvrtá generace**

Mezi biopaliva čtvrté generace se řadí fotobiologická solární paliva a elektropaliva, jež jsou v dnešní době nejprogresivnější. [11]

### **3.4.2. Rozdělení podle skupenství**

Biopaliva se mohou nacházet hned v několika skupenstvích – v tuhém, kapalné a plynném. Všechna skupenství se nachází v určitých podmínkách, při kterých jsou skladována, dopravována a připravována pro energetické využití.

#### **Tuhá biopaliva**

Příklady tuhých biopaliv:

- dřevo (štěpky, brikety, pelety, piliny, polena),
- seno (brikety, pelety),
- sláma (brikety, pelety).

#### **Kapalná biopaliva**

Příklady kapalných biopaliv:

- Alkoholová biopaliva:
  - bioethanol,
  - biomethanol,
  - butanol.
- Biooleje:
  - rostlinný olej,
  - použitý, např. fritovací olej,
  - bionafta.
- Zkapalněná plynná biopaliva:
  - bioplyn,
  - dřevoplyn.

#### **Plynná biopaliva**

Příklady plynných biopaliv:

- bioplyn,
- dřevoplyn,
- vodík. [14]

### **3.5 Technologie zplyňování**

Princip zplyňování je podrobně popsán v kapitole 3.3 Technologické možnosti zpracování biomasy, v podkapitole 3.3.1 Termické a termochemické procesy.

Zplyňovací technologie se začaly vyvíjet již před několika desítkami let a jejich vývoj stále pokračuje. Lze je dělit podle několika různých kritérií, například:

Podle konstrukce reaktoru:

- s pevným ložem (soproudé, protiproudé, s křížovým tokem),
- s fluidním ložem,
- s unášivým proudem.

Podle zplyňovacího média:

- parní,
- parokyslíková směs,
- kyslíkové,
- vzduchové.

Podle zdroje tepla pro zplyňování:

- autotermní (přímý zplyňovací reaktor) – teplo je dodáváno spalováním části biomasy,
- kyslíkové,
- alotermní (nepřímý zplyňovací reaktor) – teplo je dodáváno nepřímým ohřevem.

Podle tlaku v reaktoru:

- atmosférické,
- tlakové. [15]

#### **3.5.1 Druhy reaktorů – dělení podle konstrukce**

##### **3.5.1.1 Reaktor s pevným ložem**

U tohoto typu reaktorů se teplo může přivádět dvěma způsoby. První způsob je autotermní, kdy je teplo přiváděno přímo s palivem, druhý alotermní, kdy se teplo přivádí nepřímým ohřevem přes výměník.

Reaktory s pevným ložem se dělí na:

- protiproudé,
- souproudé,
- s křížovým tokem.

### **Reaktory protiproudé** (viz obrázek č. 5a)

U protiproudých reaktorů se palivo dávkuje z vrchu zařízení a palivo se posouvá seshora dolů. V dolní části je přiváděn vzduch spolu s párou, které zde jsou jako zplyňovací médium. Plyn, jenž zde vzniká, proudí zezdola směrem nahoru přes všechna zplyňovací pásma.

Výhody:

- možnost využití dřeva i s vyšším obsahem vlhkosti,
- vysoká účinnost reaktoru díky vnitřní výměně tepla.

Nevýhody:

- vyšší obsah dehtových látek a pyrolýzních produktů v plynu,
- vznik nízkovýhřevného plynu při náběhu zařízení. [15], [16]

### **Reaktory souproudé** (viz obrázek č. 5b)

Souproudé reaktory mají jiné pořadí procesních zón oproti reaktorům protiproudým. Pyrolýzní produkty vznikají v pásmech pyrolýzy a oxidace. V redukční zóně dochází k rozdělení na rozžhavené uhlí. Zplyňovací médium, v tomto případě vzduch, se přivádí do oxidační zóny.

Výhody:

- jednoduchá a spolehlivá technologie.

Nevýhody:

- vyrobený plyn má vyšší teplotu i vyšší obsah prachových částic,
- vyšší nároky na vlhkost a rozměry paliva. [15], [16]

### **Reaktory s křížovým tokem** (viz obrázek č. 5c)

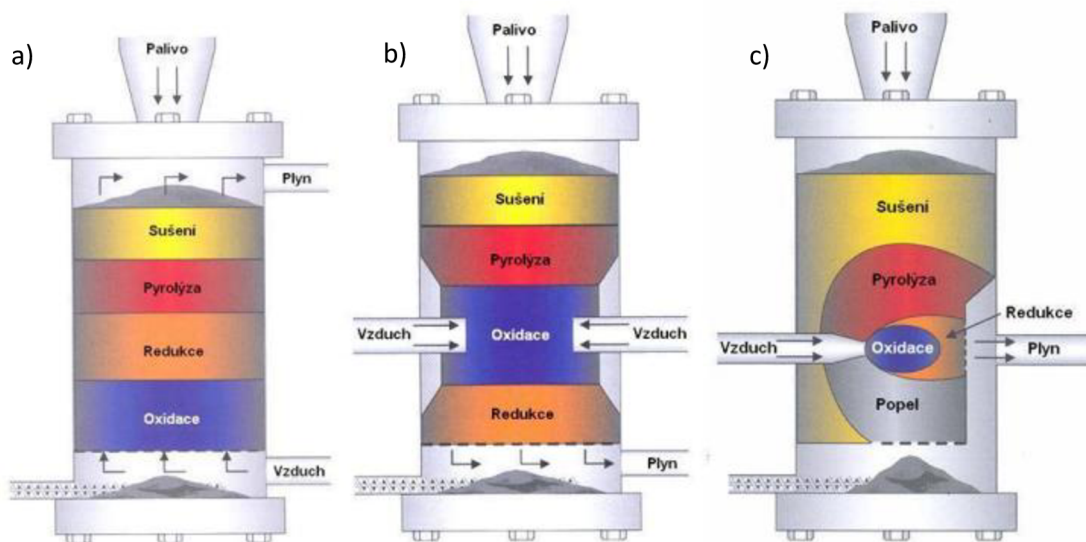
Tento druh reaktorů zplyňuje výhradně dřevěné uhlí, má nízký výkon a pracuje při velmi vysokých teplotách – až 1 500 °C, které mohou mít za následek degradaci materiálu, ze kterého je navržena konstrukce reaktoru.

Výhody:

- jednoduché čištění vzniklého plynu.

Nevýhody:

- vysoké požadavky na kvalitu paliva,
- vysoký obsah dehtu. [15], [16]



Obrázek 5: Schéma zplyňovacích reaktorů s pevným ložem [18]

### 3.5.1.2 Reaktor s fluidním ložem

Zplyňování u tohoto typu reaktoru (viz obrázek č. 6) probíhá ve vznosu, ale dříve, než samotné zplyňování začne, palivo spolu s inertním materiálem je umístěno na porézním dně. Reaktor s fluidním ložem má stejné reakce uvnitř zařízení jako reaktory s pevným ložem – oxidace, redukce, pyrolýza a sušení, rozdíl tkví v tom, že tyto reakce cirkulují v jednu chvíli v celém reaktoru. Ve spodu zařízení je vháněno zplyňovací médium, aby bylo zajištěno překonání prahové rychlosti fluidace, a v tu chvíli se směs paliva a inertního materiálu chová jako tekutý materiál. Když se začne zvyšovat rychlost, nastává rozpínání paliva a snižování hustoty paliva, poté se překoná i rychlost úletu, kdy nastává ulítávání částic paliva.

Srovnání výhod a nevýhod oproti reaktoru s pevným ložem:

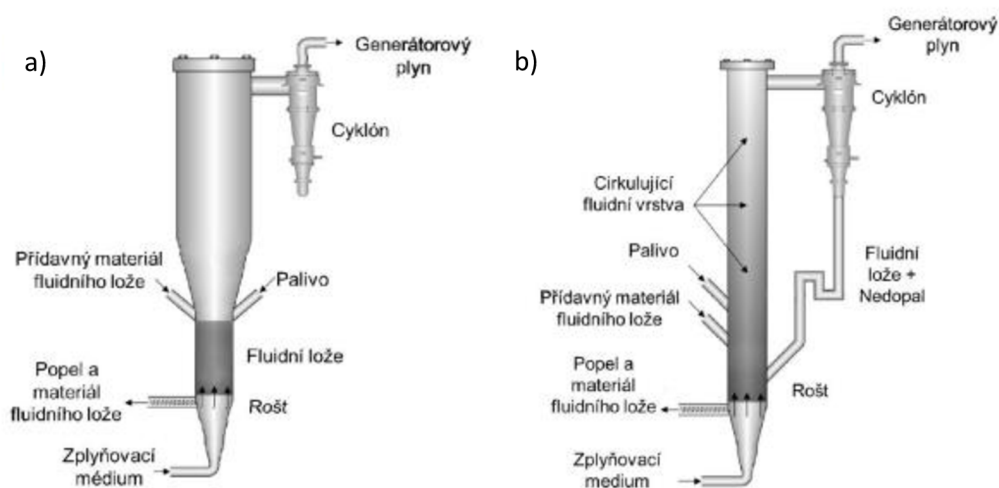
Výhody:

- nižší provozní teplota,

- nižší nároky na palivo.
- díky cirkulujícím reakcím v celém reaktoru je teplota rovnoměrně rozložená,
- vyšší odolnost konstrukce reaktoru.

Nevýhody:

- vyšší obsah dehtu a prachu ve vyprodukovaném plynu,
- vyšší teplota vyprodukovaného plynu s příměsí alkalických kovů vyskytujících se v páře,
- kvůli kompresi plynu je potřeba vstupní energie,
- nevyhoření uhlíku,
- komplikovanější provoz kvůli kontrole vstupních médií. [1], [15], [16], [17]



Obrázek 6: Schéma reaktoru se stacionární (a) a cirkulující (b) fluidní vrstvou [17]

### 3.5.1.3 Reaktor s unášivým proudem

Do tohoto typu reaktoru vstupuje palivo rozemleté na jemné částice, lze přivádět suché nebo mokré palivo. Rozemleté palivo je vháněno vysokou rychlostí do reaktoru, ve kterém probíhá zplyňování při velmi vysokých teplotách (1 200–2 000 °C). Dochází k tavení popela a ten z reaktoru vytéká jako struska.

Výhody:

- zanedbatelný obsah dehtu. [15], [16]



### 3.5.2 Energoplyn

Energoplyn je výsledným produktem technologie zplyňování, která musí splňovat správné reakční podmínky, kdy jednou z podmínek je, že musí být přiváděno zplyňovací médium, například vzduch, pára, kyslík nebo jejich kombinace. Výhřevnost generátorového plynu vyprodukovaného zplyňováním biomasy rozdělujeme na nízkou a střední. Nízko výhřevný energoplyn má  $4\text{--}6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$  a středně výhřevný  $14\text{--}18 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ . Rozdíl mezi těmito výhřevnostmi spočívá v tom, za jakých podmínek zplyňování probíhá. Pokud se tento proces děje za přítomnosti kyslíku, výhřevnost plynu dosahuje vyšších hodnot.

Generátorový plyn je bezbarvý, lehčí než vzduch, zapáchající, výbušný, jedovatý a skládá se z několika sloučenin a prvků, jimiž jsou:

- oxid uhelnatý CO – 15,2 %,
- oxid uhličitý CO<sub>2</sub> – 15,9 %,
- vodík H<sub>2</sub> – 11,5 %,
- metan CH<sub>4</sub> – 2,8 %,
- ethan C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> – 0,2 %,
- ethen C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> – 0,1 %,
- dusík N<sub>2</sub> – 54,1 %,
- kyslík O<sub>2</sub> – 0,2 %
- a množství dalších stopových prvků.

Většina látek je nechtěných, protože způsobují degradaci materiálů (korozi, abrazi a další) a mají negativní vlivy na životní prostředí (emise oxidu uhelnatého CO, oxidů dusíku NO<sub>x</sub>). Nežádoucí látky lze v některých případech odstranit nebo v určitém poměru snížit, aby tolik nezatěžovaly chod zařízení.

Použití energoplynu je široké, lze jej brát jako náhradu za fosilní paliva v mnoha oborech, například v energetice tímto plynem můžeme nahradit zemní plyn, jímž je vytápěna většina kotlů, další využití tohoto plynu je možné v automobilovém průmyslu a v podnicích, kde jsou zařízení, která je třeba vytápět. [19], [20]

### 3.5.3 Nečistoty ve vyrobeném plynu a jejich čištění

Při zplyňování vzniká vyprodukovaný dřevoplyn, ale pokud tento produkt není hned zpracován – přímým spálením, navazují se na něj negativně ovlivňující látky, kterými jsou například:

dehet, částice nespálených podílů, alkalické a dusíkaté sloučeniny, sloučeniny chloru a síry. Počet nežádoucích látek závisí na použitém druhu konstrukce k technologii zplyňování. Stejně tak na tom závisí i čištění samotných reaktorů a jejich požadavky.

## **Dehet**

Nejsledovanějším nežádoucím prvkem při zplyňování je dehet. Jedná se o sloučeninu několika organických látek, které kondenzují, nastane-li ochlazení plynu. Při pyrolýzním procesu za nízkých teplot se uvolňuje prchavá hořlavina a to je zásadním důvodem, proč dehet vlastně vzniká. Tento druh dehtu se označuje jako nestabilní kyslíkaté sloučeniny, to jsou například estery a kyseliny. Při vyšších teplotách začne probíhat termické štěpení a celková změna vedoucí k tomu, že prchavá hořlavina je celkově stabilnější a výskyt dehtu menší. Vlastnosti dehtu se odvozují od rychlosti ohřevu a teploty.

Rozdělení dehtů:

- primární dehet – fragmenty holocelulosity a ligninu, kyseliny, aldehydy, alkoholy, furany, furfuraly a jiné,
- sekundární dehet – převážně stabilnější fenoly a olefiny,
- terciární dehet – benzen, alkylaromáty (ethylbenzen, xylen, toluen, styren) a polyaromatické uhlovodíky (indan, naftalen, methylnaftaleny, acenaftalen, fenantren, fluoranten, pyren).

Množství dehtu lze omezit již ve zplyňovacím zařízení anebo pomocí termického rozkladu, katalytického rozkladu, sorpčních metod a mokré vypírky. [21], [22]

## **Částice nespálených podílů**

Tento typ nežádoucích látek v energoplynu je označován jako pevné nezreagovatelné částice – polokoks – a anorganické látky – popeloviny, které jsou ovlivněny konstrukcí zplyňovacího zařízení, druhem použitého vstupního materiálu a rychlostí proudění plynu. Při zplyňování dochází k tomu, že palivo začne zmenšovat svůj objem a hrubší částice jsou odváděny spolu s popílkem, jemné částice s proudem plynu. Výsledný plyn s vysokým podílem pevných částic produkuje především fluidní zplyňovací zařízení, a to z toho důvodu, že všechny procesy probíhají najednou uvnitř reaktoru. K vyčištění plynu se v tomto případě používají cyklonové odlučovače. [23]

### **Alkalické sloučeniny**

U generátorového plynu obsahujícího alkalické sloučeniny záleží na tom, jaké množství a složení alkálií obsahuje. Tyto parametry plynu jsou důležité kvůli vlastnostem popelovin, jimiž jsou bod měknutí, tání a také odpařování. Nejrozšířenější alkálií, která se vyskytuje v biomase, je hlavně draslík, jenž se velmi špatně odstraňuje klasickou filtrací. Alkalické sloučeniny jsou velkým problémem pro materiál konstrukce, jelikož způsobují korozi. Především usazováním alkalických sloučenin se dá tím, že se plyn ochladí a odloučí se lehké částice, na kterých dochází ke kondenzaci solí. [23], [24]

### **Dusíkaté sloučeniny**

Amoniak  $\text{NH}_3$  je hlavní znečišťující látkou řazenou mezi dusíkaté sloučeniny, kterou produkuje technologie zplyňování, a skládá se hlavně z proteinů a dalších dusíkatých látek. Amoniak má negativní vliv na životní prostředí, protože se při spalování dřevoplynu vytváří nežádoucí  $\text{NO}_x$ . Zplyňování je v tomto ohledu ekologičtější než spalování biomasy, jelikož koncentrace vyprodukovaných  $\text{NO}_x$  jsou minimální. [23]

### **Sloučeniny chloru**

V biomase se chlor nevyskytuje až tak často, ale přece jen může být obsažen jako  $\text{HCl}$ , vstupující do chemické reakce nejen s vodíkem, ale i dalšími prvky a sloučeninami. Perzistentní organické látky mohou být způsobeny vyskytujícím se chlorem v palivu a mají za následek korozivní účinky na konstrukce reaktorů. Chlor lze vyčistit pomocí mokré vypírky. [25]

### **Sloučeniny síry**

V dřevní biomase se síra vyskytuje ve velmi malém množství, maximálně 0,1 % hm., avšak i při takto malém množství je nežádoucí, protože při zplyňování se z ní stávají sulfany  $\text{H}_2\text{S}$  nebo oxidy síry  $\text{SO}_x$ . Síra se v nežádoucích účincích velice podobá chloru, korozně narušuje konstrukční materiály zplyňovacích zařízení a odstraňuje se také mokrou vypírkou anebo použitím vhodného sorbentu, který zreaguje se sírou. [23], [26]

## 4 Výchozí podmínky řešení

Výchozím objektem projektu je sídlo rodinné firmy specializující se na stavební činnost. Zázemí této firmy se nachází v Ústeckém kraji, okresu Litoměřice, ve městě Štětí s rozlohou 53,90 km<sup>2</sup> a nadmořskou výškou 155 m.

Sídlo firmy se skládá celkem ze tří budov, a to z hlavní budovy, stodoly a skladových prostor.

Stavba těchto budov započala ve 30. letech 20. století a původně sloužily jako hostinec s ubytováním. V roce 2018 byla tato nemovitost zakoupena již zmíněnou firmou a od tohoto roku začala rekonstrukce. Nyní se zázemí firmy využívá především pro skladování pracovních strojů, pracovního nářadí a náčiní. Nejprve byly opraveny skladové prostory a dvoupodlažní stodola, která má v přízemí garáž a v 1. patře kancelář pro administrativní činnost se zasedacím koutem a hygienickým zařízením a kuchyňským koutem. Hlavní budovu je v plánu zrekonstruovat a zařídit jako ubytovací zařízení, a to z důvodu pracovních příležitostí a také sportovních událostí ve Štětí a jeho okolí. V okrese Litoměřice má průmysl velmi rozsáhlé působení, nachází se zde hned několik jeho odvětví, například průmysl: dřevozpracující, elektrotechnický, energetický, hutní a kovovýroba, papírenský a polygrafický, petrochemický, potravinářský, stavební, strojírenský, textilní a oděvní, obaly a obalová technika.

U skladových prostor bylo provedeno jen natáhnutí štuky a omítky, nasazení nových dveří. Na stodole proběhla větší rekonstrukce – oprava stropu, osazení oken, dveří, garážových vrat, zateplení polystyrenem, položení nové střechy a natáhnutí štuky a omítky.

Hlavní budova je stále v rekonstrukci. Zatím zde proběhlo osazení plastových oken a dveří, příčky uvnitř domu, kompletně nová střecha. Chybí pouze řádné zateplení, nahození štuky a omítky.

Ubytovací zařízení se bude skládat ze tří pater, kdy v přízemí se bude nacházet posilovna se společenskou místností a kotelnou o rozloze 135,9 m<sup>2</sup>. V 1. patře bude kuchyňka a 3 apartmány s dispozicí 2 pokojů a koupelny o rozloze 131,7 m<sup>2</sup>. Ve 2. patře bude 1 apartmán se stejnou dispozicí jako v 1. patře, 2 pokoje s koupelnou a technická místnost o rozloze 127,6 m<sup>2</sup>. Celková rozloha hlavní budovy činí 395,2 m<sup>2</sup>. Rozloha stodoly je 98,5 m<sup>2</sup>, z toho kancelář s koupelnou má 49,6 m<sup>2</sup> a garáž 48,9 m<sup>2</sup>. V přílohách 1–4 jsou k náhledu výkresy stodoly a hlavní budovy – půdorysy jednotlivých pater, popis rozmístění pokojů v budovách a detaily.

Vytápění je zatím vyřešeno pouze v kanceláři, která se nachází ve stodole v 1. patře. Nachází se zde tepelné čerpadlo systém vzduch–vzduch, přesněji stropní kazetová jednotka. Celková roční spotřeba elektrické energie za rok 2021 dosahovala 6 600 kWh pro zázemí rodinné firmy.

Jelikož rozlohy budov činí skoro 500 m<sup>2</sup> a vytápění pouze tepelnými čerpadly by bylo při dnešních cenách elektrické energie velice drahé, je možné využití zplyňovacích technologií. Zplyňovací jednotky se rozdělují dle výkonu jednotlivých zařízení. Pro dva až tři rodinné domky se navrhuje 73 kW tepelné energie výkonu zplyňovacích zařízení. Pro zázemí firmy by tedy mělo stačit okolo 30 kW tepelného výkonu, když bereme v úvahu, že všechny budovy, které chceme vytápět, budou řádně zateplené.

Firma má v plánu vybudování solární elektrárny, která bude umístěna na střeše hlavní budovy a orientována směrem na jihozápad. Solární panely by neměly pokrýt celou výrobu energie. Po celý rok by měly zajistit ohřev teplé užitkové vody a mimo topnou sezónu by měly nahradit zplyňovací jednotku a pokrýt výrobu elektrické energie v době, kdy na zplyňovači bude probíhat údržba.



Obrázek 7: Letecký snímek rodinné firmy ve městě Štětí; 1 – hlavní budova, 2 – stodola, 3 – skladové prostory [27]



*Obrázek 8: Stav budov před rekonstrukcí v roce 2018 (foto autorka)*



*Obrázek 9: Nynější stav rodinné firmy během rekonstrukce v roce 2022 (foto autorka)*

## 5 Návrh řešení a dosažené výsledky

### 5.1 Návrh zplyňovací jednotky

Při výběru zplyňovací jednotky bylo bráno v úvahu několik hledisek. Nejdůležitějším byl výkon zařízení. Dalším faktorem pro výběr byly požadavky na materiál – druh, forma, velikost a vlhkost paliva. Posledním důležitým hlediskem pro výběr zplyňovače je cena zařízení.

Předpokladem pro výběr zplyňovací technologie je cca 30 kW tepelného výkonu, pokud budou budovy řádně zatepleny. Všechny zplyňovací jednotky jsou plně automatizované, proto biomasa, která je dodávána, musí být ve formě pelet nebo štěpky. Jelikož firma se zabývá i výřezy kolem železničních tratí a silničních komunikací, nabízí se jako nejvhodnější forma paliva štěpka. Dovezené dřevo se musí skladovat minimálně 3 roky pod přístřešky, aby vlhkost byla co nejmenší, a následně kusové dřevo pomocí štěpkovače zpracovat na vhodnou formu paliva. Z laboratorního měření je vidět, že můžeme dosáhnout i vlhkosti pod 10 %.

Ne vždy je však požadovaná vlhkost dosažena, tudíž je potřeba i sušárna dřevní biomasy, protože nemůžeme spoléhat na to, že vždy bude přivezeno jen vysušené dříví, které bylo několik let skladováno pod přístřešky, nebo například kůrovcové dřevo s nízkým obsahem vlhkosti. Vysušené dříví pomocí sušárny nebude snižovat výkon vybraného zplyňovače.

#### Výchozí podmínky pro výběrové řízení:

Výkon kotle: cca 30 kW tepelného výkonu

Druh paliva: štěpka

Na základě výchozích podmínek byly vybrány tyto tři zplyňovací jednotky:

- Spanner HK10,
- Glock GWW 1.7,
- CMD SPA ECO20X.

### 5.1.1 Výběrové řízení zplyňovací jednotky

Tabulka 2 uvádí porovnání zplyňovacích zařízení na dřevní biomasu.

Tabulka 1: Porovnání zplyňovacích zařízení [28], [29], [30]

Zplyňovací zařízení		Jednotky	Spanner HK10	Glock GWW 1.7	CMD SPA ECO20X
Výkon zařízení	Tepelný výkon	kW <sub>th</sub>	22	44	40
	Elektrická energie	kW <sub>el</sub>	9	18	20
Celková účinnost		%	80	85	80–90
Doporučené palivo		-	pelety štěpky	pelety štěpky	štěpky
Spotřeba paliva	Dřevní štěpka	kg.h <sup>-1</sup>	10	19	24
	Pelety			12–15	
Vlhkost paliva		% hm.	do 15	do 15	do 15
Cena zařízení (bez DPH)		Kč	49 500	175 000	120 000

V tabulce 3 je provedeno výběrové řízení, tedy porovnání odlišných parametrů zplyňovacích zařízení. Bodování je prováděno tak, že v každé kategorii je rozděleno 6 bodů, kdy 3 body získává vítěz kategorie, 2 body druhý v pořadí a 1 bod nejhorší z kategorie. Při shodných parametrech kategorie jsou rozděleny body proporčně.

Tabulka 2: Výběrové řízení

Název položky	Spanner HK10	Glock GWW 1.7	CMD SPA ECO20X
Výkon	3	1,5	1,5
Požadavky na surovinu	2	2	2
Cena	2	2	2
Σ	7	5,5	5,5
Umístění	1.	3.	2.

### 5.1.2 Vyhodnocení výběrového řízení

Nejvíce bodů získalo zplyňovací zařízení Spanner HK10 od firmy Spanner Re<sup>2</sup> GmbH. První místo obsadilo díky svému výkonu, protože další zvolené jednotky mají už moc velký výkon, který by nemusela daná firma využít.



## 5.2 Laboratorní měření

Součástí této diplomové práce je laboratorní měření, které bylo provedeno v laboratoři analýzy organických materiálů na Technické fakultě České zemědělské univerzity v Praze. Cílem měření bylo stanovit kvalitativní parametry dřevní biomasy. Dřevní biomasa byla získána z výřezů kolem železničních tratí a pozemních komunikací, následně byla umístěna ve venkovním prostředí, pod krytým přístřeškem, aby dřevo bylo chráněno před vlivy počasí. Před měřením bylo vybráno 9 druhů různého dřeva (jasan, smrk, akát, buk, břiza, borovice, švestka, olše a javor) o délce cca 25 cm a středových tloušťkách cca 15 cm. Vzhledem k době skladování dřeva, která byla cca 4–5 let, lze očekávat, že vlhkost bude nízká, což je důležité pro správné výsledky měření.

### 5.2.1 Předúprava vzorků

Z každého druhu výřezu byly odebrány vzorky přírůstkovým vrtákem. Pro každý druh dřeva byla stanovena původní vlhkost.



Obrázek 10: Připravené analytické vzorky (foto autorka)

### Laboratorní váhy Sartorius SP124 S

Všechny vzorky byly váženy na laboratorních váhách Sartorius SP124 S. Tyto laboratorní váhy jsou propojeny s analyzátoři LECO CHN628+S a kalorimetrem LECO AC-600, výsledky z měření je možno odeslat do počítače, který je propojen s analyzátoři.

Váhy jsou umístěny na váhovém stole, ten má speciální konstrukci tlumící veškeré vibrace a otřesy. Aby měření bylo co nejvíce přesné, uprostřed stolu je mramorová deska uložená na gumových podložkách. Z důvodu proudícího vzduchu jsou váhy chráněny ochrannými kryty. Tyto váhy váží s přesností na 0,1 mg a minimální navážka je 120 mg.



*Obrázek 11: Laboratorní váhy Sartorius SP124 S (foto autorka)*

## **5.2.2 Zpracování a analýza vzorků**

### **Termogravimetrická analýza**

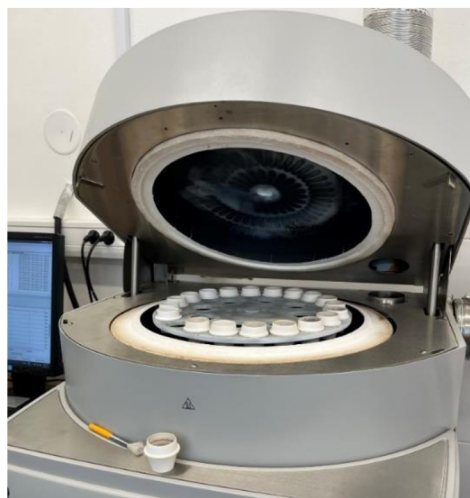
Termogravimetrická analýza byla provedena na analyzátoru LECO TGA-701. Měření je založeno na principu úbytku hmotnosti v závislosti na teplotě v řízené atmosféře vzduchu obohaceného dusíkem. Samotná analýza je provedena na analyzátoru propojeném spolu s počítačem, pomocí kterého lze ovládat pec, integrovaný karusel a interní váhy analyzátoru. V karuselu je celkem 20 kelímků, z toho 1 je referenční. Do kelímků umístěných v karuselu jsou vloženy vzorky, jež jsou následně pomocí interních vah v analyzátoru zváženy. Referenční kelímek se umísťuje do karuselu do polohy 0. Na přístroji byla nastavena metoda kombinace měření obsahu vlhkosti, prchavé hořlaviny a obsahu popela.

Před zahájením měření je potřeba učinit ještě několik důležitých kroků, kterými jsou vybrání analytické metody měření, vytárování všech kelímků a následné zvážení vzorků (cca 1 g) v každém kelímku. Potřebná data k měření jsou uložena do počítače spojeného s přístrojem. Každý vzorek je vložen nejméně do dvou kelímků. Celý proces je sledován externím počítačem, který i graficky zaznamenává úbytky hmotnosti všech kelímků. Teplota pece se reguluje podle zvolené analytické metody. Proces, při němž se stanovuje obsah vody, popela a prchavé hořlaviny, vychází z normovaných metod: ČSN EN 14774-2 (83 8220) Tuhá biopaliva –

Stanovení obsahu vody – Metoda sušení v sušárně – Část 2: Celková voda – Zjednodušená metoda; ČSN EN 14774-3 (83 8220) Tuhá biopaliva – Stanovení obsahu vody – Metoda sušení v sušárně – Část 3: Voda v analytickém vzorku pro obecný rozbor; ČSN EN 14775 (83 8210) Tuhá biopaliva – Stanovení obsahu popela; ČSN EN 15148 (83 8222) Tuhá biopaliva – Stanovení obsahu prchavé hořlaviny. K měření na analyzátoru bylo potřeba využití technických plynů: vzduch, kyslík a dusík.



Obrázek 12: Termogravimetrický analyzátor LECO TGA-701 (foto autorka)



Obrázek 13: Detail karusele analyzátoru LECO TGA-701 s kelímky (foto autorka)

### **Analyzátor LECO CHN628**

Elementární analýzu lze určit pomocí analyzátoru LECO CHN628. Toto zařízení měří obsah dusíku, uhlíku a vodíku v organických materiálech. Analýza jednoho vzorku trvá cca 4,5 minuty a je založena na procesu spalování. Analyzátor má automatický podavač vzorků se třiceti polohami. K zařízení LECO CHN628 jsou připojeny laboratorní váhy a externí počítač.

Všechny vzorky byly připravovány ručně. Příprava začala položením fóliového kelímku na laboratorní váhu a následným vytárováním. Do fóliového kelímku byl vložen vzorek o hmotnosti cca 1 g. Fóliový kelímek spolu se vzorkem byl zakroucen do tvaru slzy a pomocí váhy byl vzorek zvážen, přesná data byla odeslána do externího počítače připojeného na analyzátor. Takto připravené vzorky byly vloženy do automatického podavače. Automatický podavač posune vzorky do primární pece, kde nastává spálení vzorku v atmosféře kyslíku. Ve vzorku přítomné uhlík, vodík a dusík jsou oxidovány na oxid uhličitý, vodu a oxidy dusíku. Následně jsou vzniklé oxidy přivedeny nosným kyslíkem do sekundární pece a znovu nastává oxidace. K elementární analýze byly potřebné tlakové láhve s nosným heliem, spalovacím kyslíkem a pneumatickým stlačeným vzduchem.

### **Analyzátor LECO CHN628+S**

K analyzátoru CHN628 je přidán modul pro stanovení síry, který může být použit pro analýzu i dalších organických materiálů. Zařízení je propojeno s počítačem a laboratorními vahami Sartorius SP124 S. Do spalovací lodičky je vložen vzorek, který je navážen na laboratorních vahách. Spalovací lodička se vzorkem je dána do pece s atmosférou čistého kyslíku. Pec dosahuje teploty 1 350 °C. Ze vzorku se uvolňuje síra a začne se vytvářet oxid siřičitý. Spalné plyny putují přes zarážku lodičky do zadní části vnitřní spalovací trubice až do přední části mezi vnitřní a vnější spalovací trubicí. Nastává účinnější oxidace díky tomu, že plyny zůstanou delší čas v zóně, kde je vysoká teplota. Aby byla odstraněna vlhkost, plyny jsou vedeny ze spalovacího prostoru do trubic s anhydronem (chloristan hořečnatý) a dále do infračervené detekční komory. Průtok plynů ze vzorku je řízen regulátorem průtoku, který je nastaven na 2,5 l.min<sup>-1</sup>. Analýza trvá 60 až 120 sekund. K tomuto přístroji byla použita tlaková láhev s kyslíkem.



Obrázek 14: Analyzátor LECO CHN628+S (zleva), analyzátor LECO CHN628 (foto autorka)

### **Kalorimetr LECO AC-600**

Ke stanovení spalného tepla byl použit poloautomatický kalorimetr LECO AC-600. Zkušební vzorek byl ručně slisován v kovové formě do tvaru tablety o hmotnosti 1 g. Proces spalování probíhá ve spalovací bombě, která se skládá z kovového těla bomby, víka bomby a uzavíracího prstence víka bomby. Do víka držáku bomby je vložen kelímek spolu s předpřipravenou slisovanou tabletou. Pro správné zapálení musí být na zapalovací drátek uvázána zapalovací nit, která se zároveň musí dotýkat tablety. Po této přípravě se spalovací bomba uzavře a manuálně se natlakuje kyslíkem z tlakové lahve, která byla instalována na víka analyzátoru. Při samotné analýze se bomba ponořila do vodní lázně, jejíž teplota je hlídána a řízena elektrickým teploměrem s přesností 0,0001 °C.

Všechna naměřená data jsou odeslána do počítače, který je propojen s kalorimetrem. Spálením vzorku při řízených podmínkách získáme spalné teplo. Uvolněné teplo je úměrné spalnému teplu analyzovaného vzorku. Analýza trvala 5 nebo 9 minut, podle toho, jaký byl nastaven režim. Měření bylo provedeno celkem třikrát, abychom získali přesné výsledky. Výhřevnost byla následně dopočítána výpočty z výsledků elementární a proximální analýzy vzorků. K měření kalorimetrem LECO AC-600 bylo nezbytné mít tlakové láhve s kyslíkem a stlačeným vzduchem.



Obrázek 15: Kalorimetr LECO AC-600 (foto autorka)



Obrázek 16: Slisované vzorky – tablety jednotlivých druhů dřevní biomasy (foto autorka)



Obrázek 17: Sestavení spalovací bomby s připraveným vzorkem (foto autorka)

### 5.2.3 Měření a dosažené výsledky elementární analýzy

V tabulce 1 jsou znázorněny průměrné výsledky elementární analýzy měřených vzorků dřevní biomasy v suchém stavu a dále vlhkosti paliva v původním stavu. Pro zjištění co nejpresnějších výsledků byl každý vzorek měřen nejméně třikrát, a to z důvodu snížení chybovosti celkového měření. V přílohách 1–3 jsou kompletní výsledky měření.

Tabulka 3: Naměřené průměrné hodnoty vlastností paliv v suchém stavu a původní vlhkost dřevní biomasy

	Jasan	Smrk	Akát	Buk	Bříza	Borovice	Švestka	Olše	Javor
<b>Původní vlhkost</b> % hm.	25,26	11,71	11,11	8,12	8,77	9,40	9,41	9,20	17,03
<b>Popel</b> % hm.	0,80	0,43	0,81	0,53	0,29	0,26	0,15	0,34	0,67
<b>Uhlík</b> % hm.	50,62	51,92	51,62	49,57	50,19	51,69	51,81	50,71	50,20
<b>Vodík</b> % hm.	9,38	7,33	7,03	6,81	6,95	7,10	6,70	6,86	7,88
<b>Dusík</b> % hm.	0,19	0,11	0,25	0,09	0,11	0,11	0,09	0,16	0,13
<b>Kyslík</b> % hm.	39,00	40,22	40,29	43,01	42,46	40,84	41,25	41,93	41,12
<b>Spalné teplo za konst. tlaku</b> MJ.kg <sup>-1</sup>	20,09	20,64	20,09	19,19	19,70	20,42	19,90	19,62	19,68
<b>Výhřevnost za konst. tlaku</b> MJ.kg <sup>-1</sup>	17,22	18,72	18,25	17,49	17,95	18,61	18,19	17,88	17,46

#### Původní vlhkost

Nejvyšší obsah vlhkosti u dřevní biomasy v původním stavu byl naměřen u jasanu, a to 25,26 % hm. Druhá nejvyšší hodnota byla 17,03 % hm. u javoru. Dřevní biomasa ze stromů javor a jasan byla zřejmě čerstvější oproti dalším měřeným vzorkům, protože všechny zkoumané výřezy byly skladovány ve stejných podmínkách. U dalších zkoumaných prvků se původní vlhkost pohybuje od 8 % hm. do maximálně 12 % hm.

#### Popel

Obsah popela nepřevyšuje hodnotu 1 % hm. Nejvyšší hodnoty dosáhly akát 0,81 % hm., jasan 0,80 % hm. a javor 0,67 % hm. Množství popela může být ovlivněno například množstvím kůry ve vzorcích či podmínkami v dané lokalitě růstu dřevin, způsobem těžby a dopravy této

suroviny. Nejnižší hodnota byla zaznamenána u švestky, a to 0,15 % hm., která je z pohledu obsahu popela nejvíce ideální při procesu spalování.

### **Uhlík**

Při procesu uvolňování energie je koncentrace uhlíku nejdůležitější. Obsah uhlíku při měření výřezového paliva se pohybuje kolem hodnoty 50 % hm. Buk obsahuje nejméně uhlíku, a to 49,57 % hm., a smrk naopak nejvíce – 51,92 % hm.

### **Vodík**

Obsah vodíku u měřených vzorků nepřevyšuje hodnotu 10 % hm. Nejméně vodíku má ovocný strom švestka – 6,70 % hm, nejvíce vodíku má jasan – 9,38 % hm.

### **Dusík**

Největší obsah dusíku má dřevní biomasa jasanu a jeho hodnota je 0,19 % hm. Nejnižší hodnotu dusíku má buk – 0,19 % hm.

### **Kyslík**

Obsah kyslíku v měřené dřevní biomase se pohybuje od 39 % hm. do 43 % hm.

### **Spalné teplo**

Spalné teplo u všech měřených vzorků převyšuje hodnotu 19 MJ.kg<sup>-1</sup>. Nejvyššího spalného tepla bylo dosaženo u smrku – 20,64 MJ.kg<sup>-1</sup> a nejnižšího u buku – 19,19 MJ.kg<sup>-1</sup>.

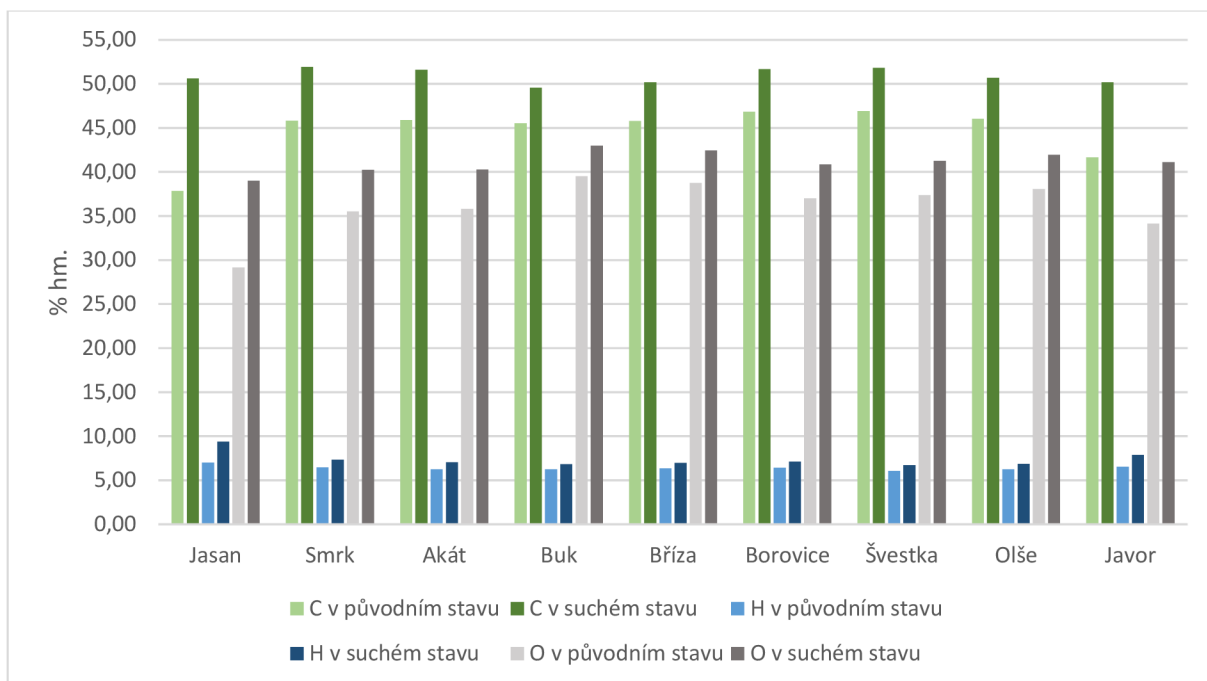
### **Výhřevnost**

Výhřevnost paliva v suchém stavu se pohybuje v rozmezí od 17,22 MJ.kg<sup>-1</sup> do 18,72 MJ.kg<sup>-1</sup>. Nejmenší hodnotu výhřevnosti – 17,22 MJ.kg<sup>-1</sup> – má jasan, a to kvůli vysoké původní vlhkosti, a nejvyšší hodnoty výhřevnosti mají jehličnaté stromy, u kterých převyšuje 18,5 MJ.kg<sup>-1</sup>.

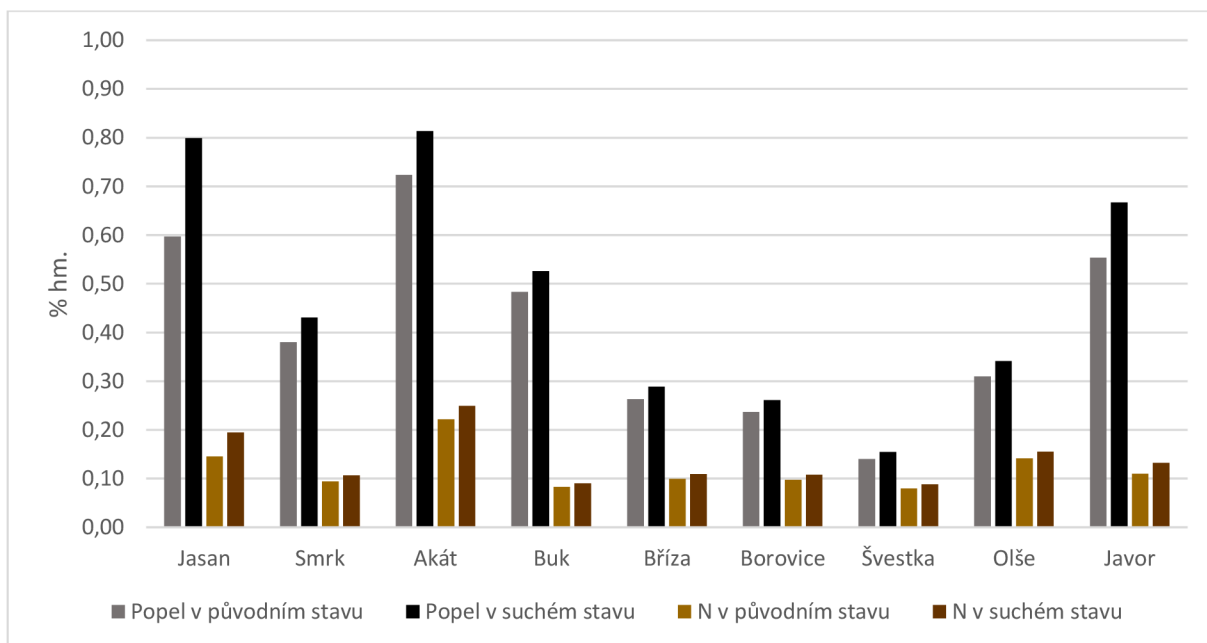
### **Porovnání původního a suchého stavu**

Na obrázcích č. 12, 13 a 14 jsou zobrazeny grafy porovnávající kvalitativní parametry jednotlivých vzorků dřevní biomasy v původním a suchém stavu. Z následujících grafů je zřejmé, že palivo v suchém stavu má vyšší hodnoty v porovnání stejných vzorků paliva v původním stavu.

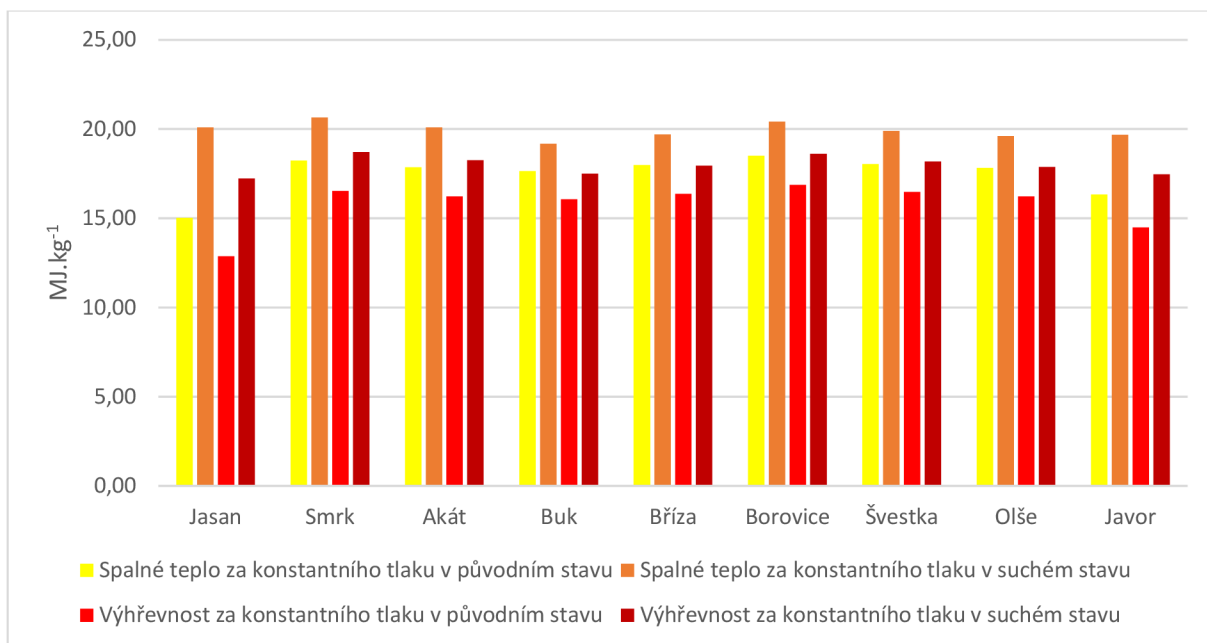




Obrázek 18: Porovnání obsahů uhlíku, vodíku a kyslíku v palivu v původním a suchém stavu



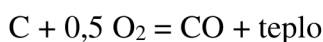
Obrázek 19: Porovnání popela a dusíku v palivu v původním a suchém stavu



Obrázek 20: Porovnání spalného tepla a výhřevnosti paliva v původním a suchém stavu

#### 5.2.4 Stechiometrická analýza

Pro teoretické stanovení množství kyslíku pro zplyňovací reakce s teoretickým složením generátorového plynu se vycházelo ze základního stechiometrického vztahu pro nedokonalé spalování uhlíku:



$$12 \text{ kg} + 16 \text{ kg} = 28 \text{ kg} + 123 \text{ MJ} \quad (2)$$

$$12,01 \text{ kg} + 0,5 \cdot 22,39 \text{ m}^3 = 22,37 \text{ m}^3$$

Při spalování uhlíku na oxid uhelnatý se spotřebuje pouze poloviční objem kyslíku než při dokonalém spalování na  $\text{CO}_2$ . Výhřevnost oxidu uhelnatého je  $12\,645 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ . V důsledku značně vyšší rychlosti reakce hoření vodíku proti průběhu hoření uhlíku je prakticky i při  $n = 1$  ztráta nespáleným vodíkem nulová.

Zplyňování tuhých paliv je proces, při kterém se získává plynné palivo. Endotermické reakce, které se při zplyňování uskutečňují a při nichž se spotřebovává teplo, probíhají třemi způsoby:

Boudordova reakce, při ní se zplyňuje uhlík obsažený v palivu redukcí oxidem uhličitým:



Heterogenní reakce vodní párou, uhlík se zplyňuje redukcí vodní párou:



Methanová reakce, methanová zplyňovací reakce probíhá podle vztahu:



Z uvedených způsobů zplyňování uhlíku v tuhých palivech vyplývá, že jednotlivými endotermickými reakcemi se vyrobí oxid uhelnatý  $\text{CO}$ , vodík  $\text{H}_2$  a methan  $\text{CH}_4$ , což jsou složky zemního plynu.

Význam zmíněných zplyňovacích reakcí, umožněných vysokou teplotou plamene, spočívá mimo jiné v tom, že při spalovacím procesu uhelných částic dovolují tyto reakce zplynění hořlaviny i v oblastech plamene s místním nedostatkem kyslíku, kde je „okysličovadlem“ jediné oxid uhličitý nebo vodní pára.

Vedle reakcí uhlíku s  $\text{CO}_2$  má svůj význam také zplyňování uhlíku molekulami vodní páry podle výše uvedených rovnic endotermických reakcí vodní párou, při nichž vzniká vodík a oxid uhelnatý. Molekuly  $\text{H}_2$  a  $\text{CO}$  v tomto procesu samy difundují od zrna paliva do prostoru, kde se setkávají s kyslíkem a shoří. Tyto nové molekuly vodní páry a oxidu uhličitýho se zčásti vracejí zase k zrnu paliva, z kterého spotřebovávají při zplyňování další díl hořlaviny. To se opakuje až do úplného zplynění. Zplyňování uhlíku vodní párou probíhá rychleji než zplyňování oxidem uhličitým. Je to dáno tím, že molekulární rychlost vodní páry je asi 1,5krát vyšší než u  $\text{CO}_2$ . Také molekulární rychlost vodíku je asi 3,7krát vyšší než rychlost molekul oxidu uhelnatého. Proto za stejný čas je molekula vodní páry schopna zplynit víc atomů uhlíku než molekula  $\text{CO}_2$ , která kromě toho k tomu ještě potřebuje více reakčního tepla. Velká pohyblivost molekul vodní páry a vodíku vysvětluje, proč přítomnost vodní páry urychluje spalovací pochody.

Výchozí předpoklady ke stechiometrickým výpočtům zplyňovacích procesů:

- Výpočty jsou stanoveny pro vzorky v sušině a 10% vlhkosti v palivu.
- Síra obsažená ve vzorcích je ve stopovém množství, proto se ve výpočtech dále neuvažuje.
- Součinitel přebytku vzduchu pro zplyňovací proces je zvolen na hodnotě 0,2, která se obvykle u zplyňovacích technologií volí v rozmezí od 0,1 do 0,3.
- Veškerý kyslík se účastní stechiometrického zplyňování, tudíž ve finálním plynu není zastoupen.
- Pro výpočet parametrů spotřeby spalovacího vzduchu a generátorového plynu se předpokládá koncové složení plynu:  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{N}_2$ , které tvoří základní složky generátorového plynu bez dalších složek, jako je  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  a  $\text{SO}_2$ . Stechiometrie zplyňovacích procesů obchází dynamiku termochemických reakcí, jako je např. Boudordova reakce, heterogenní reakce a methanová reakce a předpokládá se již s finálními produkty dokonalého zplyňování  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{N}_2$  bez koncentrací  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  a v našem případě i koncentrace  $\text{SO}_2$ .

#### 5.2.4.1 Výsledky stechiometrické analýzy

Stechiometrická analýza byla provedena pro všechny měřené vzorky dřevní biomasy v sušině vzorku a 10% vlhkosti.

### **Stechiometrická analýza vzorků dřevní biomasy v sušině**

V sušině dřevní biomasy teoretické množství kyslíku pro hmotnostní zplyňování dřevní štěpky je v průměru  $0,86 \text{ kg.kg}^{-1}$ , teoretické množství vzduchu pro dokonalé hmotnostní zplyňování činí  $3,71 \text{ kg.kg}^{-1}$  a skutečné množství kyslíku pro zplyňování ( $n = 0,2$ ) je  $0,74 \text{ kg.kg}^{-1}$ . Hmotnostní množství plynu ve vlhkém plynu je  $2,45 \text{ kg.kg}^{-1}$  a zároveň hmotnostní množství plynu bez vlhkosti je  $1,75 \text{ kg.kg}^{-1}$ . Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu uhelnatého v suchém plynu činí  $67,97 \%$  hm.

Teoretické množství kyslíku pro objemové zplyňování dřevní biomasy činí v průměru  $0,60 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ , teoretické množství vzduchu pro dokonalé objemové zplyňování  $2,85 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$  skutečné množství kyslíku pro zplyňování ( $n = 0,2$ ) je  $0,57 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ . Objemové množství plynu ve vlhkém plynu je  $2,24 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$  a objemové množství suchého plynu je  $1,40 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ . Teoretická objemová koncentrace oxidu uhelnatého v suchém plynu je  $68,07 \%$  hm.

### **Stechiometrická analýza vzorků dřevní biomasy s 10% vlhkostí**

Ve vzorcích dřevní biomasy s 10% vlhkostí teoretické množství kyslíku pro hmotnostní zplyňování dřevní štěpky je v průměru  $0,77 \text{ kg.kg}^{-1}$ , teoretické množství vzduchu pro dokonalé hmotnostní zplyňování je  $3,34 \text{ kg.kg}^{-1}$  a skutečné množství kyslíku pro zplyňování ( $n = 0,2$ ) je  $0,67 \text{ kg.kg}^{-1}$ . Hmotnostní množství plynu ve vlhkém plynu činí  $2,30 \text{ kg.kg}^{-1}$  a zároveň hmotnostní množství plynu bez vlhkosti je  $1,58 \text{ kg.kg}^{-1}$ . Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu uhelnatého v suchém plynu činí  $67,97 \%$  hm.

Teoretické množství kyslíku pro objemové zplyňování dřevní biomasy činí v průměru  $0,54 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ , teoretické množství vzduchu pro dokonalé objemové zplyňování je  $2,57 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$  a skutečné množství kyslíku pro zplyňování ( $n = 0,2$ ) je  $0,51 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ . Objemové množství plynu ve vlhkém plynu je  $2,12 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$  a objemové množství suchého plynu je  $1,26 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ . Teoretická objemová koncentrace oxidu uhelnatého v suchém plynu je  $68,07 \%$  hm.

Veškeré hodnoty stechiometrické analýzy pro jednotlivé vzorky suché dřevní biomasy jsou zobrazeny v tabulce 4 a pro všechno laboratorně měřené dříví s 10% vlhkostí v tabulce 5.

Tabulka 4: Výsledné hodnoty stechiometrické analýzy pro všechny měřené vzorky dřevní biomasy v sušině

Sušina vzorku			Jasan	Smrk	Akát	Buk	Bříza	Borovice	Švestka	Olše
<i>C</i>	Hmotnostní podíl uhlíku v původním palivu	kg.kg <sup>-1</sup>	0,5062	0,5192	0,5162	0,4957	0,5019	0,5169	0,5181	0,5020
<i>H</i>	Hmotnostní podíl vodíku v původním palivu	kg.kg <sup>-1</sup>	0,0938	0,0733	0,0703	0,0681	0,0695	0,0710	0,0670	0,0788
<i>O</i>	Hmotnostní podíl kyslíku v původním palivu	kg.kg <sup>-1</sup>	0,3900	0,4022	0,4029	0,4301	0,4246	0,4084	0,4125	0,4112
<i>N</i>	Hmotnostní podíl dusíku v původním palivu	kg.kg <sup>-1</sup>	0,0019	0,0011	0,0025	0,0009	0,0011	0,0011	0,0009	0,0013
Hmotnostní zplyňování										
<i>O<sub>min</sub></i>	Teoretické množství kyslíku pro zplyňování	kg.kg <sup>-1</sup>	1,0353	0,8765	0,8478	0,7756	0,8006	0,8488	0,8143	0,8885
<i>L<sub>min</sub></i>	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé zplyňování (½ O <sub>2</sub> pro vznik CO)	kg.kg <sup>-1</sup>	4,4626	3,7779	3,6542	3,3432	3,4509	3,6586	3,5099	3,8299
<i>L<sub>skut</sub></i>	Skutečné množství kyslíku pro zplyňování (n = 0,2)	kg.kg <sup>-1</sup>	0,8925	0,7556	0,7308	0,6686	0,6902	0,7317	0,7020	0,7660
<i>m<sup>v</sup><sub>sp</sub></i>	Hmotnostní množství plynu ve vlhkém plynu	kg.kg <sup>-1</sup>	2,7366	2,4728	2,4205	2,3018	2,3462	2,4277	2,3707	2,4906
<i>m<sup>s</sup><sub>sp</sub></i>	Hmotnostní množství plynu bez vlhkosti	kg.kg <sup>-1</sup>	1,8567	1,7828	1,7586	1,6622	1,6931	1,7595	1,7396	1,7507
<i>m<sub>CO</sub></i>	Hmotnostní množství CO	kg.kg <sup>-1</sup>	1,1811	1,2115	1,2045	1,1566	1,1711	1,2061	1,2089	1,1713
<i>m<sub>H2O</sub></i>	Hmotnostní množství H <sub>2</sub> O, která vstupuje do procesu	kg.kg <sup>-1</sup>	0,8799	0,6899	0,6619	0,6396	0,6531	0,6683	0,6311	0,7398
<i>m<sub>N2</sub></i>	Hmotnostní množství N <sub>2</sub>	kg.kg <sup>-1</sup>	0,6755	0,5714	0,5541	0,5056	0,5220	0,5534	0,5307	0,5794
Vyjádření jednotlivých složek plynu v % hm.										
<i>CO<sub>max</sub></i>	Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu uhelnatého v suchém plynu	% hm.	63,6160	67,9519	68,4918	69,5849	69,1690	68,5494	69,4924	66,9048
<i>N<sub>2</sub></i>	Dusík (ve vlhkém plynu)	% hm.	36,3840	32,0481	31,5082	30,4151	30,8310	31,4506	30,5076	33,0952
Objemové zplyňování										
<i>O<sub>min</sub></i>	Teoretické množství kyslíku pro zplyňování	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	0,7198	0,6096	0,5896	0,5393	0,5567	0,5903	0,5664	0,6178
<i>L<sub>min</sub></i>	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé zplyňování (½ O <sub>2</sub> pro vznik CO)	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,4279	2,9028	2,8078	2,5681	2,6509	2,8111	2,6970	2,9419
<i>L<sub>skut</sub></i>	Skutečné množství kyslíku pro zplyňování (n = 0,2)	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	0,6856	0,5806	0,5616	0,5136	0,5302	0,5622	0,5394	0,5884
<i>v<sup>v</sup><sub>sp</sub></i>	Objemové množství ve vlhkém plynu	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	2,5493	2,2589	2,2055	2,1023	2,1431	2,2140	2,1529	2,2946
<i>v<sup>s</sup><sub>sp</sub></i>	Objemové množství suchého plynu	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	1,4795	1,4211	1,4018	1,3249	1,3495	1,4025	1,3867	1,3953
<i>v<sub>CO</sub></i>	Objemové množství CO	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	0,9429	0,9671	0,9615	0,9233	0,9348	0,9628	0,9650	0,9350
<i>v<sub>H2O</sub></i>	Objemové množství H <sub>2</sub> O, která vstupuje do procesu	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	1,0699	0,8378	0,8037	0,7774	0,7936	0,8116	0,7662	0,8993
<i>v<sub>N2</sub></i>	Objemové množství N <sub>2</sub>	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	0,5366	0,4540	0,4403	0,4016	0,4147	0,4397	0,4217	0,4603
Vyjádření jednotlivých složek plynu v % obj.										
<i>CO<sub>max</sub></i>	Teoretická objemová koncentrace oxidu uhelnatého v suchém plynu	% obj.	63,7296	68,0517	68,5898	69,6886	69,2718	68,6486	69,5888	67,0127
<i>N<sub>2</sub></i>	Dusík (bez vlhkosti)	% obj.	36,2704	31,9483	31,4102	30,3114	30,7282	31,3514	30,4112	32,9873

Tabulka 5: Výsledné hodnoty stechiometrické analýzy pro všechny měřené vzorky dřevní biomasy při 10% vlhkosti

Vlhkost 10% hm.			Jasan	Smrk	Akát	Buk	Bříza	Borovice	Švestka	Olše
<b>C</b>	Hmotnostní podíl uhlíku v původním palivu	kg.kg <sup>-1</sup>	0,4556	0,4673	0,4646	0,4461	0,4517	0,4652	0,4663	0,4518
<b>H</b>	Hmotnostní podíl vodíku v původním palivu	kg.kg <sup>-1</sup>	0,0844	0,0660	0,0633	0,0613	0,0626	0,0639	0,0603	0,0709
<b>O</b>	Hmotnostní podíl kyslíku v původním palivu	kg.kg <sup>-1</sup>	0,3510	0,3620	0,3626	0,3871	0,3821	0,3676	0,3713	0,3701
<b>N</b>	Hmotnostní podíl dusíku v původním palivu	kg.kg <sup>-1</sup>	0,0017	0,0010	0,0023	0,0008	0,0010	0,0010	0,0008	0,0012
<b>Hmotnostní zplyňování</b>										
<b>O<sub>min</sub></b>	Teoretické množství kyslíku pro zplyňování	kg.kg <sup>-1</sup>	0,9318	0,7888	0,7630	0,6981	0,7205	0,7639	0,7329	0,7997
<b>L<sub>min</sub></b>	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé zplyňování (½ O <sub>2</sub> pro vznik CO)	kg.kg <sup>-1</sup>	4,0164	3,4001	3,2888	3,0089	3,1058	3,2928	3,1589	3,4469
<b>L<sub>skut</sub></b>	Skutečné množství kyslíku pro zplyňování (n = 0,2)	kg.kg <sup>-1</sup>	0,8033	0,6800	0,6578	0,6018	0,6212	0,6586	0,6318	0,6894
<b>m<sup>v</sup><sub>sp</sub></b>	Hmotnostní množství plynu ve vlhkém plynu	kg.kg <sup>-1</sup>	2,5629	2,3255	2,2784	2,1717	2,2116	2,2850	2,2336	2,3415
<b>m<sup>s</sup><sub>sp</sub></b>	Hmotnostní množství plynu bez vlhkosti	kg.kg <sup>-1</sup>	1,6710	1,6045	1,5827	1,4960	1,5238	1,5835	1,5657	1,5757
<b>m<sub>CO</sub></b>	Hmotnostní množství CO	kg.kg <sup>-1</sup>	1,0630	1,0903	1,0840	1,0410	1,0540	1,0855	1,0880	1,0542
<b>m<sub>H2O</sub></b>	Hmotnostní množství H <sub>2</sub> O, která vstupuje do procesu	kg.kg <sup>-1</sup>	0,8919	0,7209	0,6957	0,6757	0,6878	0,7014	0,6680	0,7659
<b>m<sub>N2</sub></b>	Hmotnostní množství N <sub>2</sub>	kg.kg <sup>-1</sup>	0,6080	0,5142	0,4987	0,4550	0,4698	0,4980	0,4776	0,5215
<b>Vyjádření jednotlivých složek plynu v % hm.</b>										
<b>CO<sub>max</sub></b>	Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu uhelnatého v suchém plynu	% hm.	63,6160	67,9519	68,4918	69,5849	69,1690	68,5494	69,4924	66,9048
<b>N<sub>2</sub></b>	Dusík (ve vlhkém plynu)	% hm.	36,3840	32,0481	31,5082	30,4151	30,8310	31,4506	30,5076	33,0952
<b>Objemové zplyňování</b>										
<b>O<sub>min</sub></b>	Teoretické množství kyslíku pro zplyňování	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	0,6479	0,5486	0,5307	0,4854	0,5010	0,5313	0,5097	0,5560
<b>L<sub>min</sub></b>	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé zplyňování (½ O <sub>2</sub> pro vznik CO)	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	3,0851	2,6125	2,5271	2,3112	2,3858	2,5300	2,4273	2,6477
<b>L<sub>skut</sub></b>	Skutečné množství kyslíku pro zplyňování (n = 0,2)	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	0,6170	0,5225	0,5054	0,4622	0,4772	0,5060	0,4855	0,5295
<b>v<sup>v</sup><sub>sp</sub></b>	Objemové množství ve vlhkém plynu	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	2,3941	2,1365	2,0892	1,9979	2,0341	2,0968	2,0426	2,1683
<b>v<sup>s</sup><sub>sp</sub></b>	Objemové množství suchého plynu	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	1,3315	1,2790	1,2616	1,1924	1,2146	1,2622	1,2481	1,2558
<b>v<sub>CO</sub></b>	Objemové množství CO	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	0,8486	0,8704	0,8653	0,8310	0,8414	0,8665	0,8685	0,8415
<b>v<sub>H2O</sub></b>	Objemové množství H <sub>2</sub> O, která vstupuje do procesu	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	1,0626	0,8576	0,8276	0,8055	0,8196	0,8346	0,7945	0,9126
<b>v<sub>N2</sub></b>	Objemové množství N <sub>2</sub>	m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	0,4829	0,4086	0,3963	0,3614	0,3732	0,3957	0,3796	0,4142
<b>Vyjádření jednotlivých složek plynu v % obj.</b>										
<b>CO<sub>max</sub></b>	Teoretická objemová koncentrace oxidu uhelnatého v suchém plynu	% obj.	63,7296	68,0517	68,5898	69,6886	69,2718	68,6486	69,5888	67,0127
<b>N<sub>2</sub></b>	Dusík (bez vlhkosti)	% obj.	36,2704	31,9483	31,4102	30,3114	30,7282	31,3514	30,4112	32,9873

## 5.3 Teoretický rozbor zplyňovací jednotky související s návrhem

### 5.3.1 Popis funkce zplyňovací jednotky

Zplyňovací jednotka od firmy Spanner Re<sup>2</sup> GmbH se skládá ze spínací skříně neboli řídicí jednotky a zplyňovacího zařízení s pevným ložem. Je to tedy systém stejnosměrného proudu, kdy palivo i dřevoplyn se pohybují stejným směrem, v tomto případě shora dolů.

Biomasa ve formě dřevěné štěpky nebo pelet se díky technologii zplyňování přeměňuje na sekundární palivo, kterým je dřevoplyn. Ten dále postupuje do filtračního zařízení, kde je čištěn, a následně je spalován v kogenerační jednotce, označované zkratkou CHP na obrázku 19. Při této technologii zpracování biomasy nedochází k větším ztrátám.

Předepsaným požadavkem pro tento typ zplyňovacího zařízení je surovina, která vstupuje do procesu. Palivo by se mělo skládat z naštěpkovaného přírodního dřeva, jež musí splňovat standard G30-G40. Tento standard určuje podíl velikosti a frakce štěpky. Dodávané složení suroviny by mělo splňovat minimálně 60 % hm. dřevní biomasy o průměru 30 mm<sup>2</sup> nebo 40 mm<sup>2</sup> a maximálně 30 % hm. frakce. Pokud vstupní biomasa bude obsahovat více jemné frakce, přes popel se bude přenášet více uhlíkového prachu.

Zplyňovače jsou plně automatizované a šnekový dopravník si podle potřeby dopravuje dřevní štěpku, která je uskladněná v týdenní skladovací nádobě. Poté je štěpka přivedena rovnou do reaktoru. V tento okamžik by měla dřevní biomasa obsahovat maximálně 15 % hm. vody.

Hlavní částí zplyňovače je reaktor, zde dochází k přeměně paliva na dřevní plyn. Teplota v pyrolýzní zóně se pohybuje v rozsahu 200 °C až 500 °C. Při 200 °C dochází k rozkladu dřeva a vznikají karbonizační plyny. V této zóně se palivo přeměnilo na uhlík, který následně putuje do zóny oxidace. Oxidační zóna dosahuje teploty kolem 1 200 °C, vytvořený uhlík je spálen se vzduchem a vzniká oxid uhličitý, který je v zóně redukce pomocí vodní páry z vlhkosti dřeva přeměněn na oxid uhelnatý a vodík. Při této technologii spaliny proudí přes oxidační zónu, a tím vznikají nežádoucí uhlovodíky a dehty, jež se dělí na CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>. Vyrobený dřevoplyn pomocí zplyňovače firmy Spanner Re<sup>2</sup> GmbH má velmi nízký obsah dehtu, je tedy označován za tzv. dřevní plyn „bez dehtu“.

Dřevoplyn, popel a uhelný koks jsou výslednými produkty zplyňovacího zařízení. Dřevoplyn při teplotě 680 °C je odváděn ze spodní části reaktoru spolu s popelem a nespáleným koksem. Následně se dřevoplyn ochlazuje v tepelném výměníku a čistí od popela a nespáleného dřevěného uhlí pomocí filtru. V kontejneru se ukládá uhelný koks a popel.



Dřevoplyn, který je vyčištěn a ochlazen, má následné využití v kogenerační jednotce. Dochází ke spálení dřevního plynu v motoru, jenž pohání generátor na výrobu elektrické energie, která může být následně spotřebována nebo dodávána do veřejné sítě. Vyrobené teplo se použije pro topné účely. [28]



Obrázek 21: Schéma zplyňovacího reaktoru od firmy Spanner Re<sup>2</sup> GmbH [28]

### 5.3.2 Požadavky vybrané zplyňovací jednotky

Firma Spanner Re<sup>2</sup> GmbH uvádí tyto požadavky na vstupní surovinu:

- přírodní dřevo ve formě dřevních štěpek či pelet,
- maximální obsah vody < 13 % hm.,
- obsah vody v peletách cca 10 % hm.,
- optimální obsah vody < 8 % hm.,
- jemná frakce (velikost zrna < 4 mm) maximálně 30 % hm.,
- délka paliva okolo 20 mm, průměr do 30 mm.

Vstupní surovinou v měření byla štěpka. Obsah vody v rozmezí od 8 do 13 % hm. byl splněn, až na dva vzorky dříví – jasan a javor (viz tabulka 3), které byly zřejmě čerstvé. A velikost štěpek byla také splněna, viz obrázky 10 a 16 v kapitole 5.2. Všechny požadavky zvolené firmy byly splněny.

## 5.4 Ekonomické posouzení návrhu

Tato kapitola se zabývá posouzením návrhu zplyňovací technologie pro firemní objekt k výrobě elektrické energie a tepla. Cílem je zhodnocení efektivnosti jednotky a ekonomické návratnosti celkové investice. Vybraná zplyňovací jednotka pro výchozí objekty bude sloužit pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla s elektrickým výkonem 9 kW<sub>el</sub> a bude sloužit přednostně pro vytápění objektů a ohřev teplé užitkové vody.

### 5.4.1 Vstupní údaje pro ekonomickou analýzu

Vstupní předpoklady a datová základna finanční analýzy, které se nachází v tabulce 6.

- Cena elektrické energie pro vlastní spotřebu je 5,80 Kč/kWh a cena elektrické energie dodávané do sítě je 5,87 Kč/kWh. [31]
- V ekonomické analýze je použit interval 15 let.
- Prvním rokem investice je rok 2023.
- V ekonomické analýze jsou ceny bez DPH.
- Cena paliva je 0,67 Kč/kWh, zahrnuje dřevní štěpku už vysušenou na 10% vlhkost v sušárně.
- Financování je realizováno pomocí podnikatelského úvěru s úrokem 5 % a dobou splatnosti 15 let.
- Poplatky za emise nejsou uvažovány.
- V analýze jsou zahrnuty fixní náklady na zaměstnance – jeho výdělek, sociální a zákonné odvody dle platné legislativy.
- Náklady spojené s technologií – opravy a údržba zplyňovače, jsou určeny podle výrobce. [28]

### 5.4.2 Použité metody finanční analýzy:

#### Čistá současná hodnota – NPV (Net Present Value)

Metoda čistá současná hodnota je finanční ukazatel, který je velice často využíván a je označován jako nejvhodnější. Tato metoda zahrnuje nejen celou dobu životnosti návrhu, ale i možnost investice do jiného projektu, který je stejně rizikový. Při výpočtu je uvažováno s časovou hodnotou peněz, která závisí na předvídaných hotovostních tocích a alternativních nákladech kapitálu.

Metoda NPV popisuje libovolné peněžní toky a výslednou hodnotou je absolutní hodnota přínosu investice při dnešních cenách, což je velkou výhodou. Výsledná hodnota může vyjít kladná nebo záporná. Kladná hodnota říká, že je investice rentabilní, a záporná, že je návrh nevýdělečný. Výsledkem je tedy hodnota udávající výši výnosů, kterou projekt přinese podniku, pokud bude návrh uskutečněn. Při srovnávání několika investičních možností je lepší, když výsledná hodnota NPV je vyšší.

Tato metoda slouží k hodnocení efektivnosti investic. [32]

Výpočet:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (7)$$

Kde:

NPV čistá současná hodnota,

$CF_t$  peněžní toky v jednotlivých letech,

n doba splatnosti,

r diskontní úroková míra.

### **Index rentability – PI (Profitability Index)**

Index rentability neboli také index ziskovosti je metoda vyjadřující poměr přínosů k počátečním kapitálovým výdajům. Pokud výsledná hodnota vychází větší než 1, navrhovaná investice je výnosná. Výsledkem je relativní vyjádření „obohacení“ společnosti.

Stejně jako metoda čisté současné hodnoty se tato metoda používá k hodnocení efektivnosti investic, ale spíše jako komplementární i k porovnání více investičních možností mezi sebou. [33]

Výpočet:

$$PI = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{I} \quad (8)$$

Kde:

PI index ziskovosti,

- I počáteční kapitálový výdaj,
- $CF_t$  peněžní toky v jednotlivých letech,
- n doba splatnosti,
- r diskontní úroková míra.

### **Diskontovaná doba splatnosti – DPP (Discounted Payback Period)**

Diskontovaná doba splatnosti, označovaná také jako diskontovaná doba návratnosti, je metoda zohledňující faktor času. U této metody je možné měnit náklad kapitálu, což je velkou výhodou, a výpočet doby návratnosti je velmi přesný. Sledovat finanční toky lze pouze jen do okamžiku, než je celková investice návrhu splacená, toto je u této metody považováno za nevýhodu.

Stejně jako u předchozích metod by investiční návrh měl být realizován pouze, jestliže je rentabilní, tedy doba úhrady je kratší než samotná doba životnosti návrhu. [34]

Výpočet:

$$0 = -I + \sum_{t=0}^{DPP} \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (9)$$

Kde:

- DPP diskontovaná doba splatnosti,
- I počáteční kapitálový výdaj,
- $C_t$  cash flow v jednotlivých letech,
- r diskontní úroková míra.

Tabulka 6: Vstupní hodnoty vybrané zplyňovací jednotky

Vstupní údaje	M.J.	Spanner HK10
Cena paliva	Kč.kWh <sup>-1</sup>	0,67
Nákupní cena elektřiny pro vlastní spotřebu	Kč.kWh <sup>-1</sup>	5,80
Vlastní spotřeba elektřiny	kWh	35 000
Hrubá mzda	Kč.měsíc <sup>-1</sup> .	30 000
Počet zaměstnanců	osoba	1
Odvody zaměstnavatele	INX	0,34
Materiál	Kč	0
Zákonné sociální odvody	INX	0,05
Úroková sazba – investiční úvěr	INX	0,05
Úroková sazba – kontokorentní úvěr	INX	0,01
Pojistné	Kč	10 000
Ostatní náklady	Kč	0
Náklady na opravy dodavatelským způsobem	Kč	0
Služby	Kč	150 000
Doba splácení úvěru	Roky	15
Cena silové elektřiny	Kč.kWh <sup>-1</sup>	5,87
Doplatek za: OZE – odpadní biomasa	Kč.kWh <sup>-1</sup>	0

Tabulka 7 je shrnutím celkových kapitálových výdajů pro investici do zplyňovací technologie navržené pro výchozí podmínky projektu. Celková pořizovací cena zplyňovací jednotky Spanner HK10 a sušárny činí 1 487 500 Kč bez DPH.

Tabulka 7: Kapitálové výdaje pro zplyňovací jednotku

R. č.	Položky investičního majetku dle odpisových skupin	Spanner HK10
1	Zplyňovací zařízení	1 237 500 Kč
3	Sušárna dřevní štěpky	250 000 Kč
7	Pořizovací cena DHM a DNM	1 487 500 Kč

### 5.4.3 Výsledné hodnoty finanční analýzy

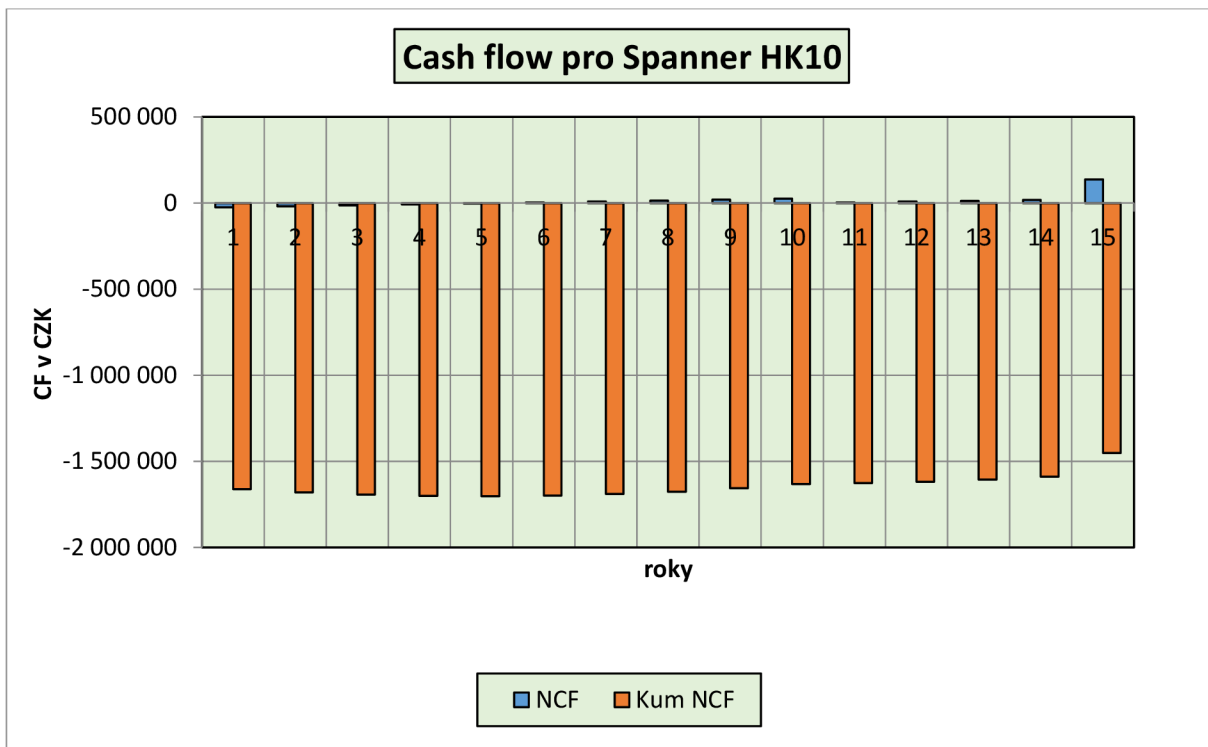
Z tabulky 8 a obrázku 22 je patrné, že tato alternativa výroby elektrické energie a tepla zatím není schopna generovat během 15 let provozu kladné finanční toky.

Z grafu na obrázku 22 je vidět, že po 5 letech rozdíl mezi příjmem peněžních prostředků a výdejem peněžních prostředků je v kladných hodnotách, a nasčítané cash flow je stále v záporných hodnotách kvůli vysoké vstupní investici.

Tabulka 8: Výsledné hodnoty ekonomické analýzy zplyňovací technologie

<b>Vyhodnocení realizovaného řešení a opatření projektu aplikace zplyňovacích technologií</b>		
<b>Položka</b>	<b>M. J.</b>	<b>Spanner HK10</b>
<b>Provozní parametry řešení</b>		
Dodávka tepla	kWh	140 528
Vlastní spotřeba elektřiny	kWh	35 000
Instalovaný elektrický výkon	kWh	10
Dodávka elektřiny na prahu	kWh	42 110
Spotřeba paliva	kWh	289 311
<b>Ekonomické parametry řešení</b>		
Průměrná výkupní cena elektřiny	Kč.MWh <sup>-1</sup>	5,8
Průměrná odbytová cena tepla	Kč.MWh <sup>-1</sup>	4,73
Provozní tržby*	Kč	1 114 882
Provozní náklady*	Kč	1 112 759
EBT – provozní HV*	Kč	12 753
Potřeba kapitálu	Kč	1 637 000
Potřeba cizího kapitálu	Kč	1 637 000
Potřeba vlastního kapitálu	Kč	0
Nenávratný finanční příspěvek	Kč	0
<b>Dynamické metody hodnocení efektivnosti investic</b>		
NPV – čistá současná hodnota	Kč	-1 516 380
PI – index rentability	%	0,07
DPP – diskontovaná doba splatnosti	datum	15+

\*průměrné hodnoty za 15 let provozu



Obrázek 22: Graf cash flow vybrané varianty Spanner HK10 po dobu 15 let

V porovnání s většími zplyňovacími jednotkami, které jsou vypočítány ve výzkumu Aplikace zplyňovacích technologií při energetickém využití jehličnatých dřevin z kůrovcové a kalamitní těžby z roku 2021, lze vidět, že varianta s vyšší výkonností například 70 kWel je rentabilní i za několikanásobně nižší ceny dodávané elektřiny, které byly v roce, kdy byl tento výzkum vydán. [35]

## 6 Diskuse a závěry

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout technologii na využití dřevní biomasy pro výrobu tepelné a elektrické energie. V první části této práce byla podrobně popsána vstupní surovina navrhované technologie – biomasa, její rozdělení a zpracovávání pomocí termických, termochemických, chemických a biologických procesů. Dále byly představeny výstupní produkty – biopaliva – a jejich dělení. Nejpodrobněji byla rozepsána technologie zplyňování, a to nejen samotný proces, ale i zařízení pro tuto technologii, kterými jsou zplyňovací reaktory.

Technologie zplyňování je v České republice zatím velice opomíjená, a přitom má tolik výhod, například: výroba energie z obnovitelných biologických zdrojů, tato technologie je skoro bezemisní, zvyšuje diverzifikaci využití obnovitelných zdrojů energie, aplikovat ji lze na vícero druhů biomasy a není závislá na počasí jako sluneční nebo větrné elektrárny. 80 % elektrické energie vyrábí elektrárny využívající fosilní paliva a velkou příležitostí této nové technologie je dekarbonizace České republiky, která vede k ukončení využívání uhlí pro výrobu energie během 10 až 15 let. Nevýhodou je, že tento druh obnovitelného zdroje energie je zatím pro nás nový a neznámý, i když se technologie neustále vyvíjí.

V projektu Energetické parametry biomasy bylo měřeno pět stejných druhů dřeva jako v této diplomové práci – akát, borovice, bříza, buk a smrk. Autoři projektu například u akátu naměřili vlhkost 10,6 % hm., obsah popela 0,88 % hm., výhřevnost 18,3 MJ.kg<sup>-1</sup> a parametry u dřevní biomasy ze smrku v práci jiných autorů byly: vlhkost 11,0 % hm., obsah popela 0,47 % hm., výhřevnost 18,9 MJ.kg<sup>-1</sup>. Autorka práce u stejného typu dřeva naměřila velmi podobné hodnoty – akát: původní vlhkost 11,11 % hm., obsah popela 0,81 % hm., výhřevnost 18,25 MJ.kg<sup>-1</sup> a smrk: původní vlhkost 11,71 % hm., obsah popela 0,43 % hm., výhřevnost 18,72 MJ.kg<sup>-1</sup>. [36] Vlhkost a obsah popela se v některých případech mohou lišit. V odborné literatuře se udává, že vlhkost biomasy ze smrku je 20 % hm., v porovnání s výsledky autorky je tato hodnota příliš vysoká, ale obsah vlhkosti se může lišit vzhledem k tomu, kde a jak dlouhou dobu je dříví skladováno nebo zda je i biomasa například sušena. [37] Obsah popela je také velice individuální, protože záleží i na lokalitě, kde dřevní biomasa roste, a jakým způsobem je dřevo těženo. Odborná literatura udává, že obsah popela se pohybuje v rozmezí 0,5–1,1 % hm. v sušině biomasy ze dřeva. [38]

Autorce vyšly průměrné obsahy prvkové analýzy následovně: uhlík 50,93 % hm., vodík 7,34 % hm., dusík 0,14 % hm. a kyslík 41,12 % hm. V měřeních provedených jinými autory vyšly



obsahy kvalitativních parametrů dřevní biomasy takto: uhlík 50,86 % hm., obsah vodíku 7,13 % hm., obsah dusíku 0,12 % hm. a obsah kyslíku 41,19 % hm. [36]

Nejdůležitějším parametrem pro zplyňovací jednotky vyrábějící energii z dřevní biomasy je vlhkost. V čerstvém dříví se vlhkost pohybuje okolo 40 % hm. a po několika letech skladování v příznivých podmínkách může klesnout až na zhruba 10 % hm. Samozřejmě, že ne vždy je možné dříví skladovat několik let a pod krytými přístřešky. Občas je tedy bude nutné dřevo dosušet v sušárně. Vlhkost se u některých výrobců může pohybovat až do 20 % hm., v našem případě je maximální vlhkost stanovena na 13 % hm. Tento požadavek byl splněn u většiny vzorků a u zbylých, nesplňujících tuto hodnotu, je možné dřevo dosušet v sušárně, která je navržena spolu se zplyňovací jednotkou od firmy Spanner Re<sup>2</sup>GmbH. Dalším důležitým požadavkem zplyňovacích jednotek je obsah popela. Obsah popela při našem měření vychází od 0,15 do 0,80 % hm. I tento požadavek je splněn, neboť většina výrobců udává, že maximální obsah popela musí být do 1 % hm. Posledním požadavkem je výhřevnost, ta se odvíjí především od vlhkosti obsažené ve vstupní surovině. Výrobci udávají optimální výhřevnost cca 18 MJ.kg<sup>-1</sup>, tato hodnota byla splněna u většiny měřených vzorků, u jehličnatých stromů byla i překročena. [28]

Na základě výsledků z laboratorního měření je zřejmé, že všechny požadavky vybraného zplyňovače na kvalitu vstupní suroviny byly splněny a dřevní štěpka je vhodná pro výrobu elektrické energie a tepla pomocí zplyňování.

Z ekonomického hlediska je použití zplyňovací technologie zatím nerentabilní, především kvůli vysokým nákladům na pořízení zplyňovače. Tyto jednotky zatím v České republice nejsou konkurenceschopné vzhledem k nynějším zdrojům energie. Zájem v zemích Evropské unie se stále zvyšuje, a pokud by se tato technologie více prosadila i u nás, je možné, že by se dotace rozšířila i na tento obnovitelný zdroj energie, který lze využít i pro odpadní suroviny s nižší nákladovou hodnotou.

## 7 Seznam literatury

- [1] Národní akční plán ČR pro energii z obnovitelných zdrojů 2010–2020. Databáze strategií [online]. [cit. 2022-11-16]. Dostupné z: <https://www.databaze-strategie.cz/cz/mpo/strategie/narodni-akcni-plan-cr-pro-energii-z-obnovitelnych-zdroju-2010-2020>
- [2] Státní energetická koncepce. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. 2016 [cit. 2022-11-16]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statni-energeticka-politika/statni-energeticka-koncepce--223620/>
- [3] Zákon č. 165/2012 Sb. In: . 2012, ročník 2012, číslo 165. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165?text=biomasa>
- [4] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001. In: . ročník 2018, číslo 2001. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>
- [5] TRÁVNÍČEK, Petr. Technologie zpracování biomasy za účelem energetického využití. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-206-9.
- [6] JAKUBES, Jaroslav, Helena BELLINGEROVÁ a Michal ŠVÁB. Moderní využití biomasy: Technologické a logistické možnosti. Česká energetická agentura, 2006.
- [7] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Michal BRANC. „Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy“: studie v rámci projektu „Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy“. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1426-1.
- [8] Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR [online]. [cit. 2022-01-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>
- [9] Technologie zplyňování biomasy [online]. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4768435-Technologie-zplynovani-biomasy.html>
- [10] PEER, Václav a Pavel FRIEDEL. Zplyňování – principy a reaktory. TZB info [online]. VŠB – TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum, 2016, 25. 1. 2016 [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/13729-zplynovani-principy-a-reaktory>

- [11] Understanding Biofuel Classification. Sustainable Innovation Management [online]. 2017 [cit. 2022-01-07]. Dostupné z: <https://sim.sbio.vt.edu/?p=2341>
- [12] Second Generation Biofuels. Biofuels [online]. [cit. 2022-01-07]. Dostupné z: <http://biofuel.org.uk/second-generation-biofuels.html>
- [13] Third Generation Biofuels. Biofuels [online]. [cit. 2022-01-07]. Dostupné z: <http://biofuel.org.uk/third-generation-biofuels.html>
- [14] ŠÍPAL, Jaroslav. Obnovitelné zdroje energie: způsoby získávání elektrické a tepelné energie z obnovitelných zdrojů. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7414-742-5.
- [15] Zplyňování – principy a reaktory. TZBinfo [online]. 2016 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/13729-zplynovani-principy-a-reaktory>
- [16] BASU, Prabir. Combustion and gasification in fluidized beds. Boca Raton: CRC, 2006. ISBN 08-493-3396-2.
- [17] POHOŘELÝ, M., M. JEREMIÁŠ, P. KAMENÍKOVÁ, S. SKOLIBA, K. SVOBODA a M. PUNČOCHÁŘ. Zplyňování biomasy. In: Chemické listy[online]. Záměstný, 2012, s. 267–274 [cit. 2017-11-23]. ISSN 123-7103.
- [18] DLUHOPISOVÁ PREZENTACE SPOLEČNOSTI LOGIKA RALSKO, S. R. O. České dluhopisy [online]. 2021, 2021 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://ceskedluhopisy.cz/dluhopis-ekologicka-likvidace-2021/>
- [19] ENERGOPLYN – PRODUKT ZPLYŇOVÁNÍ. Energie z biomasy III – seminář [online]. Brno, 2004 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: [https://eu.fme.vutbr.cz/file/Sbornik-EnBio/2004/19\\_PravdaII.pdf](https://eu.fme.vutbr.cz/file/Sbornik-EnBio/2004/19_PravdaII.pdf)
- [20] Energie z biomasy IX. – odborný seminář. Energie z biomasy IX. – odborný seminář [online]. Brno, 2008, 2008 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: [https://eu.fme.vutbr.cz/file/Sbornik-EnBio/2008/ENBIO\\_2008.pdf](https://eu.fme.vutbr.cz/file/Sbornik-EnBio/2008/ENBIO_2008.pdf)
- [21] SKOBLJA, Sergej. Úprava složení plynu ze zplyňování biomasy. Praha, 2004. Disertační práce.

- [22] KIEL J. H. A. et al., Primary measures to reduce tar formation in fluidized-bed biomass gasifier, Final report SDE project P1999-012, March 2004.
- [23] STEVENS D. J., Hot Gas Conditioning: Recent Progress with Larger-Scale Biomass Gasification Systems, Colorado, USA 2001.
- [24] KUBÍČEK J., Vypírání dehtu v kontextu úpravy generátorového plynu pro jeho využití ve spalovacím motoru, Brno 2005, Disertační práce.
- [25] Nežádoucí látky vznikající při zplyňování. TZBinfo [online]. Ostrava, 2016, 2016 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/14932-nezadouci-latky-vznikajici-pri-zplynovani>
- [26] KLASS D. L.: Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals, Academic Press, San Diego, USA 1998.
- [27] Google Earth [online]. [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://earth.google.com/web>
- [28] Spanner Re2 Holzvergases & Blockheizkraftwerk (BHKW) [online]. [cit. 2022-11-16]. Dostupné z: <https://www.holz-kraft.com/de/>
- [29] Glock ecoenergy [online]. [cit. 2022-11-16]. Dostupné z: <https://www.glock-ecoenergy.com/en>
- [30] Eco20x - CMD [online]. [cit. 2022-11-16]. Dostupné z: <https://eco20cmd.com/>
- [31] Kolik stojí kWh energie. Eon [online]. 2023 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/zelena-energie/ceny-energie/kolik-stoji-kwh-energie/>
- [32] Čistá současná hodnota (NPV - Net Present Value). Management Mania [online]. 2017 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/cista-soucasna-hodnota>
- [33] Index ziskovosti (PI - Profitability Index). Management Mania [online]. 2016 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/index-ziskovosti>
- [34] DLUHOŠOVÁ, Dana. Finanční řízení a rozhodování podniku: analýza, investování, oceňování, riziko, flexibilita. 2., upr. vyd. Praha: Ekopress, 2008. ISBN ISBN978-80-86929-44-6.

- [35] MALAŤÁK, Jan, Martin JANKOVSKÝ, Barbora TAMELOVÁ, Luboš PASSIAN, Jan VELEBIL a Jitka MALAŤÁKOVÁ. APLIKACE ZPLYŇOVACÍCH TECHNOLOGIÍ PŘI ENERGETICKÉM VYUŽITÍ JEHLIČNATÝCH DŘEVIN Z KŮROVCOVÉ A KALAMITNÍ TĚŽBY. Lesy ČR [online]. Praha, 2020 [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: [https://lesy-cr.cz/wp-content/uploads/2019/12/GS\\_ZZ\\_zplynovaci-technologie.pdf](https://lesy-cr.cz/wp-content/uploads/2019/12/GS_ZZ_zplynovaci-technologie.pdf)
- [36] SKÁLA, Zdeněk a Tadeáš OCHODEK. Energetické parametry biomasy: projekt GAČR 101/04/1278. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. Knihovnicka.cz. ISBN ISBN978-80-214-3493-6.
- [37] MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. Energie z biomasy. 2., aktualiz. vyd. Brno: ERA, 2008. 21. století. ISBN ISBN978-80-7366-115-1.
- [38] MALAŤÁK, Jan a Petr VACULÍK. Biomasa pro výrobu energie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN ISBN978-80-213-1810-6.

## 8 Seznam obrázků a tabulek

### Seznam obrázků

Obrázek 1: Zdroje vzniku biomasy [5].....	4
Obrázek 2: Výchřevnost vybraných druhů dřevní biomasy [5] .....	5
Obrázek 3: Základní procesy a technologie přeměny biomasy [6] .....	6
Obrázek 4: Základní princip zplyňování [9].....	8
Obrázek 5: Schéma zplyňovacích reaktorů s pevným ložem [18] .....	14
Obrázek 6: Schéma reaktoru se stacionární (a) a cirkulující (b) fluidní vrstvou [17].....	15
Obrázek 7: Letecký snímek rodinné firmy ve městě Štětí; 1 – hlavní budova, 2 – stodola, 3 – skladové prostory [27] .....	20
Obrázek 8: Stav budov před rekonstrukcí v roce 2018 (foto autorka) .....	21
Obrázek 9: Nynější stav rodinné firmy během rekonstrukce v roce 2022 (foto autorka) .....	21
Obrázek 10: Připravené analytické vzorky (foto autorka).....	24
Obrázek 11: Laboratorní váhy Sartorius SP124 S (foto autorka).....	25
Obrázek 12: Termogravimetrický analyzátor LECO TGA-701 (foto autorka).....	26
Obrázek 13: Detail karuselu analyzátoru LECO TGA-701 s kelímky (foto autorka).....	26
Obrázek 14: Analyzátor LECO CHN628+S (zleva), analyzátor LECO CHN628 (foto autorka) .....	28
Obrázek 15: Kalorimetr LECO AC-600 (foto autorka).....	29
Obrázek 16: Slisované vzorky – tablety jednotlivých druhů dřevní biomasy (foto autorka)...	29
Obrázek 17: Sestavení spalovací bomby s připraveným vzorkem (foto autorka).....	29
Obrázek 18: Porovnání obsahů uhlíku, vodíku a kyslíku v palivu v původním a suchém stavu .....	32
Obrázek 19: Porovnání popela a dusíku v palivu v původním a suchém stavu .....	32
Obrázek 20: Porovnání spalného tepla a výchřevnosti paliva v původním a suchém stavu .....	33
Obrázek 21: Schéma zplyňovacího reaktoru od firmy Spanner Re <sup>2</sup> GmbH [28].....	40
Obrázek 22: Graf cash flow vybrané varianty Spanner HK10 po dobu 15 let.....	46

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání zplyňovacích zařízení [28], [29], [30].....	23
Tabulka 2: Výběrové řízení .....	23
Tabulka 3: Naměřené průměrné hodnoty vlastností paliv v suchém stavu a původní vlhkost dřevní biomasy.....	30
Tabulka 4: Výsledné hodnoty stechiometrické analýzy pro všechny měřené vzorky dřevní biomasy v sušině.....	37
Tabulka 5: Výsledné hodnoty stechiometrické analýzy pro všechny měřené vzorky dřevní biomasy při 10% vlhkosti .....	38
Tabulka 6: Vstupní hodnoty vybrané zplyňovací jednotky .....	44
Tabulka 7: Kapitálové výdaje pro zplyňovací jednotku .....	44
Tabulka 8: Výsledné hodnoty ekonomické analýzy zplyňovací technologie.....	45

## **9 Přílohy**

Příloha 1 – Výkres půdorysu přízemí hlavní budovy

Příloha 2 – Výkres půdorysu 1. NP hlavní budovy

Příloha 3 – Výkres půdorysu 2. NP hlavní budovy

Příloha 4 – Výkres půdorysu přízemí a 1. NP stodoly

Příloha 5 – Kompletní výsledky elementární analýzy – původní stav = analytický stav

Příloha 6 – Kompletní výsledky elementární analýzy – suchý stav

Příloha 7 – Kompletní výsledky elementární analýzy – hořlavina

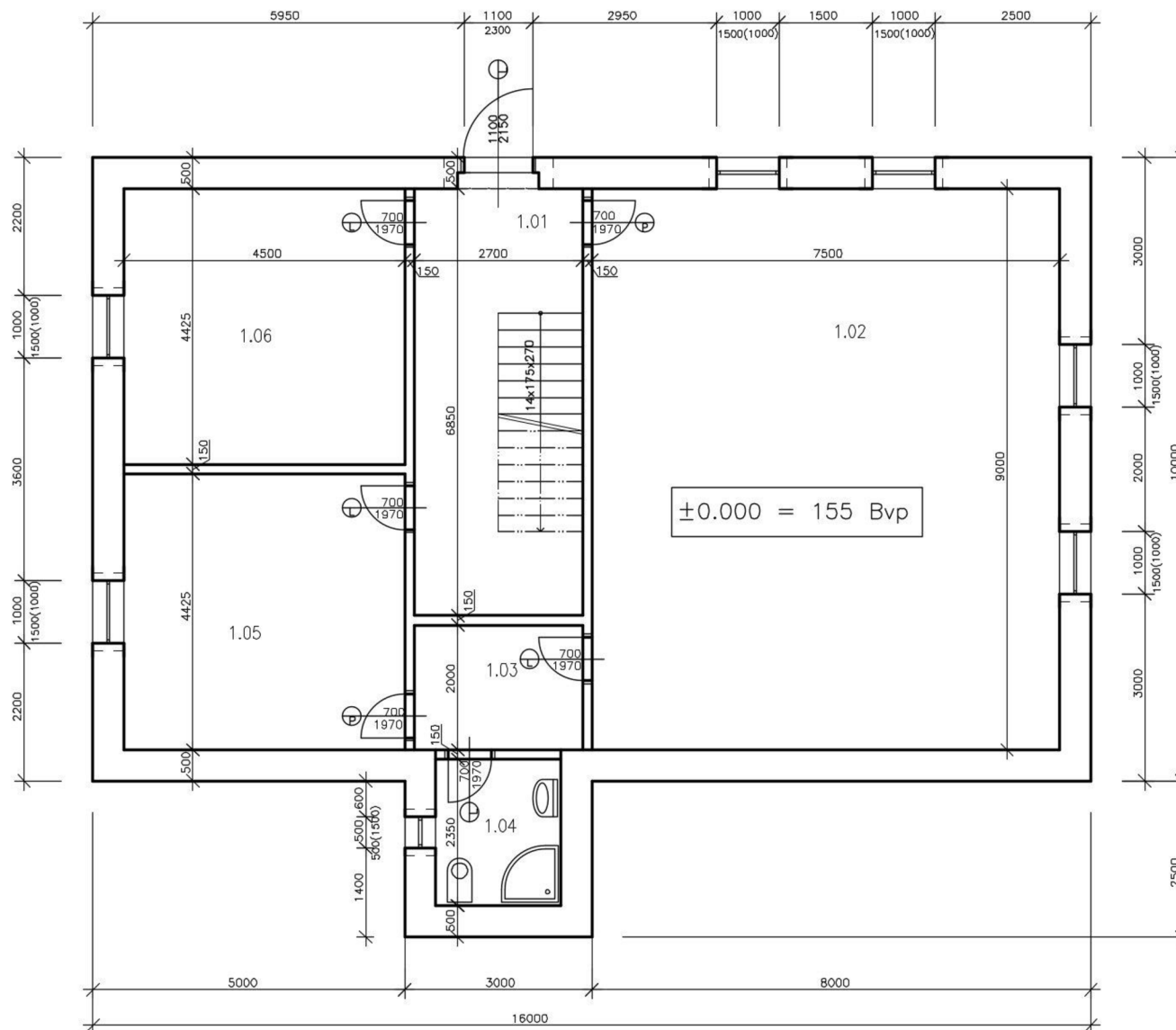
Příloha 8 – Katalog ke zplyňovací jednotce od firmy Spanner Re2 GmbH

Příloha 9 – Provozní náklady a výnosy vybrané zplyňovací jednotky za projektované období

Příloha 10 – Projekce cash flow vybrané zplyňovací jednotky za projektované období



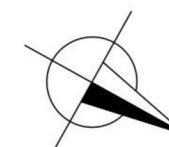
Příloha 1 – Výkres půdorysu přízemí hlavní budovy



LEGENDA MÍSTNOSTÍ PŘÍZEMÍ :

OZN.	NÁZEV	m <sup>2</sup>
1.01	ZÁDVEŘÍ	18,5
1.02	POSILOVNA	67,5
1.03	CHODBA	5,4
1.04	KOUPELNA	4,7
1.05	SPOLEČENSKÁ MÍSTNOST	19,9
1.06	KOTELNA	19,9

CELKOVÁ PLOCHA: 135,9 m<sup>2</sup>



±0.000 = 155 Bvp

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
Technická fakulta  
Katedra technologických zařízení staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE:

Návrh technologie na využití dřevní biomasy pro výrobu tepelné a elektrické energie

NÁZEV VÝKRESU:

Hlavní budova – půdorys přízemí

VYPRACOVAL:

Bc. Lenka Procházková

VEDOUcí PRÁCE:

doc. Ing. Jan Malaták, Ph.D.

STUDIJNÍ PROGRAM:

N-NTZS-NZAK kombi

ŠK.ROK:

2022/2023

DATUM:

19.9.2022

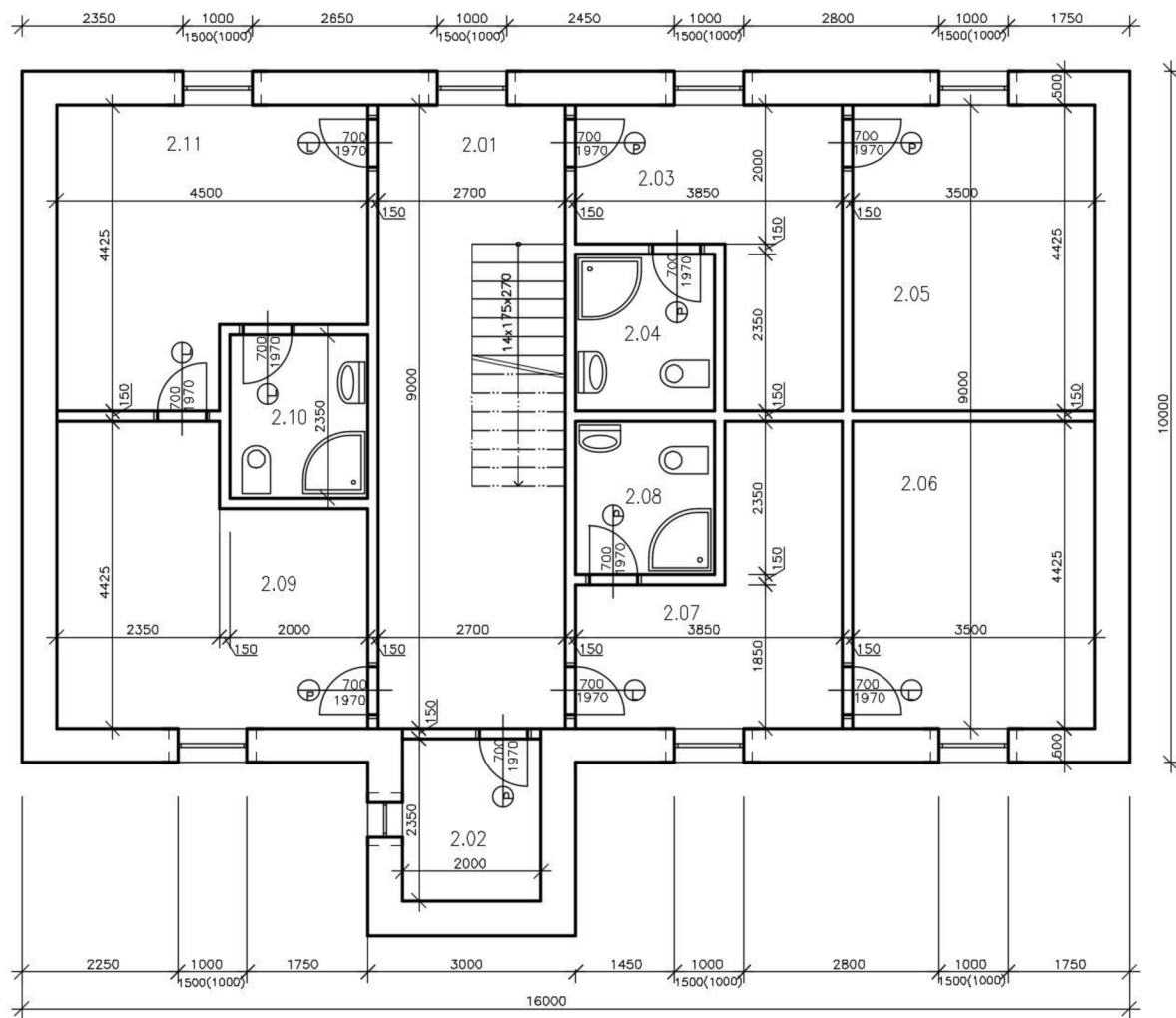
MĚŘÍTKO:

1:75

Č. VÝKRESU:

1/1

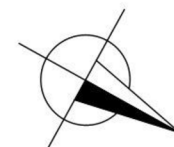
Příloha 2 – Výkres půdorysu 1. NP hlavní budovy



LEGENDA MÍSTNOSTÍ 1.NP:

OZN.	NÁZEV	m <sup>2</sup>
2.01	CHODBA	24,3
2.02	KUCHYŇ	4,7
2.03	POKOJ	11,8
2.04	KOUPELNA	4,5
2.05	POKOJ	15,5
2.06	POKOJ	15,5
2.07	POKOJ	11,8
2.08	KOUPELNA	4,5
2.09	POKOJ	17,3
2.10	KOUPELNA	4,5
2.11	POKOJ	17,3

CELKOVÁ PLOCHA: 131,7 m<sup>2</sup>



±0.000 = 155 Bvp

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
Technická fakulta  
Katedra technologických zařízení staveb



DIPLMOVÁ PRÁCE:  
Návrh technologie na využití dřevní biomasy  
pro výrobu tepelné a elektrické energie

NÁZEV VÝKRESU:  
Hlavní budova – půdorys 1.NP

VYPRACOVAL:  
Bc. Lenka Procházková

STUDIJNÍ PROGRAM:  
N-NTZS-NZAK kombi

ŠK.ROK: 2022/2023

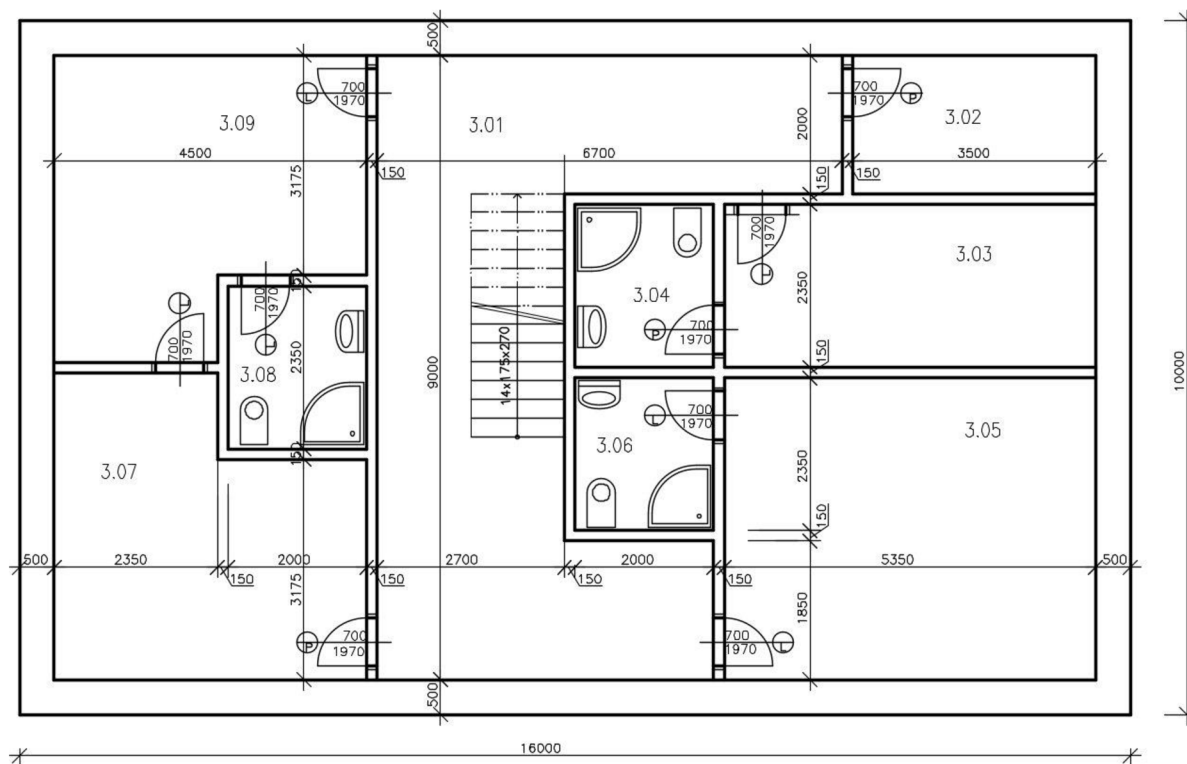
DATUM: 19.9.2022

MĚŘÍTKO: 1:75

Č. VÝKRESU: 1/2

VEDOUcí PRÁCE:  
doc. Ing. Jan Malaták, Ph.D.

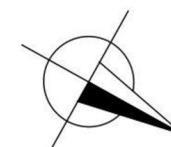
Příloha 3 – Výkres půdorysu 2. NP hlavní budovy



LEGENDA MÍSTNOSTÍ 2.NP:

OZN.	NÁZEV	m <sup>2</sup>
3.01	CHODBA	36,6
3.02	TECHNICKÁ MÍSTNOST	7,0
3.03	POKOJ	12,6
3.04	KOUPELNA	4,5
3.05	POKOJ	23,3
3.06	KOUPELNA	4,5
3.07	POKOJ	17,3
3.08	KOUPELNA	4,5
3.09	POKOJ	17,3

CELKOVÁ PLOCHA: 127,6 m<sup>2</sup>



±0.000 = 155 Bvp

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
Technická fakulta  
Katedra technologických zařízení staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE:

Návrh technologie na využití dřevní biomasy pro výrobu tepelné a elektrické energie

NÁZEV VÝKRESU:

Hlavní budova – půdorys 2.NP

VYPRACOVAL:

Bc. Lenka Procházková

VEDOUcí PRÁCE:

doc. Ing. Jan Malaták, Ph.D.

STUDIJNÍ PROGRAM:

N-NTZS-NZAK kombi

SK.ROK: 2022/2023

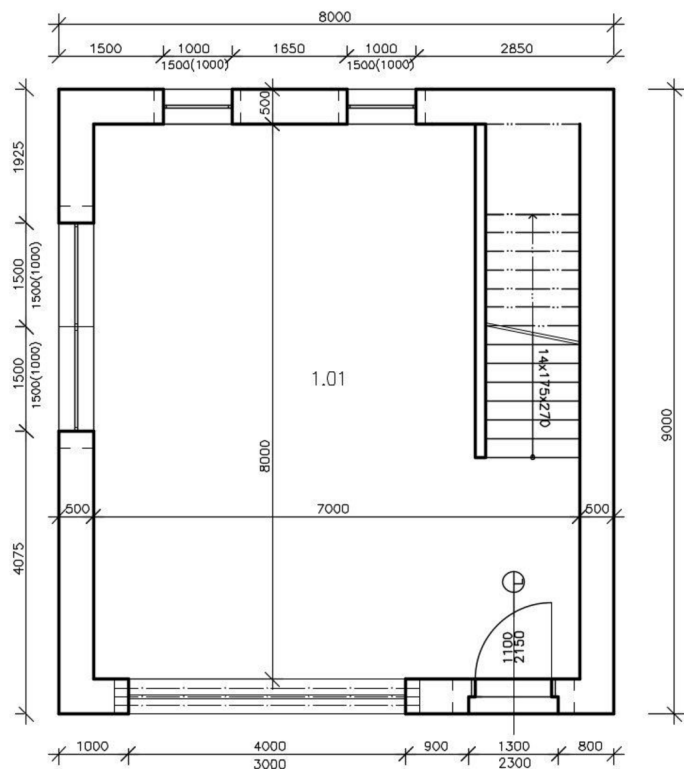
DATUM: 19.9.2022

MĚŘÍTKO: 1:75

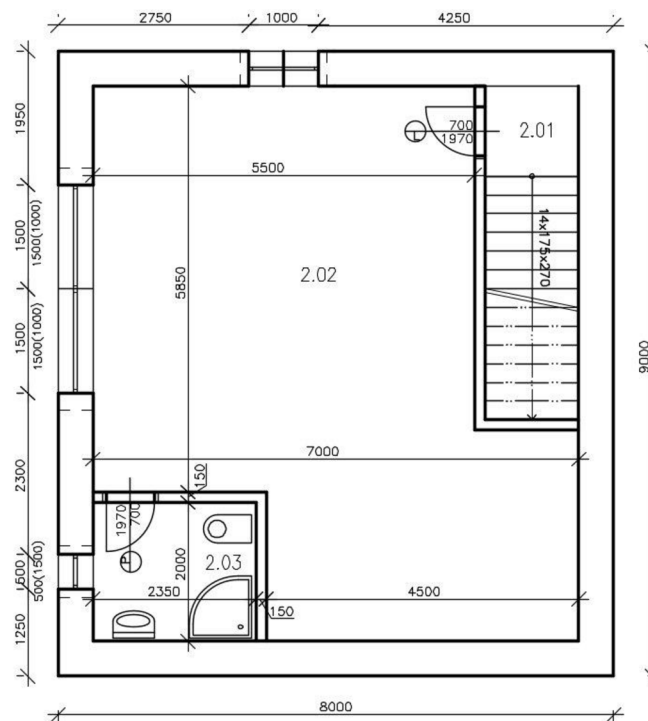
Č. VÝKRESU: 1/3

Příloha 4 – Výkres půdorysu přízemí a 1. NP stodoly

PŘÍZEMÍ



1.NP



LEGENDA MÍSTNOSTÍ PŘÍZEMÍ + 1.NP :

OZN.	NÁZEV	m <sup>2</sup>
1.01	GARAŽ	48,9
CELKOVÁ PLOCHA: 48,9 m <sup>2</sup>		
2.01	CHODBA	1,7
2.02	KANCELÁŘ	43,2
2.02	KOUPELNA	4,7
CELKOVÁ PLOCHA: 49,6 m <sup>2</sup>		



±0.000 = 155 Bvp

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
Technická fakulta  
Katedra technologických zařízení staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE:  
Návrh technologie na využití dřevní biomasy  
pro výrobu tepelné a elektrické energie

NÁZEV VÝKRESU:  
Stodola – půdorys přízemí + 1.NP

VYPRACOVAL:  
Bc. Lenka Procházková

STUDIJNÍ PROGRAM:  
N-NTZS-NZAK kombi

ŠK.ROK: 2022/2023

DATUM: 19.9.2022

MĚŘÍTKO: 1:75

Č. VÝKRESU: 2

VEDOUcí PRÁCE:  
doc. Ing. Jan Malafák, Ph.D.



Příloha 6 – Kompletní výsledky elementární analýzy – suchý stav

Strom	Suchý stav																																											
	Popel					C					H					N					S					O					Spalné teplo za konst. obj.					Výhřevnost za konst. tlaku								
	% hm.	$\bar{x}$	$s^2$	s	V	% hm.	$\bar{x}$	$s^2$	s	V	% hm.	$\bar{x}$	$s^2$	s	V	% hm.	$\bar{x}$	$s^2$	s	V	% hm.	$\bar{x}$	$s^2$	s	V	% hm.	$\bar{x}$	$s^2$	s	V	MJ.kg <sup>-1</sup>	$\bar{x}$	$s^2$	s	V	MJ.kg <sup>-1</sup>	$\bar{x}$	$s^2$	s	V				
Jasan	1,04					50,79					9,54					0,23						0,00					38,40						20,39						17,45					
Jasan	0,68	0,80	0,03	0,17	21,17	50,55	50,62	0,02	0,12	0,24	9,27	9,38	0,01	0,11	1,22	0,16	0,19	0,00	0,03	13,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,33	39,00	0,18	0,43	1,09	20,30	20,09	0,13	0,35	1,76	17,45	17,22	0,11	0,33	1,89				
Jasan	0,68					50,52					9,34					0,20						0,00					39,27						19,60						16,76					
Smrk	0,43					52,02					7,29					0,09						0,00					40,17						20,73						18,82					
Smrk	0,43	0,43	0,00	0,00	0,04	52,20	51,92	0,08	0,28	0,54	7,33	7,33	0,00	0,03	0,36	0,12	0,11	0,00	0,01	12,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,93	40,22	0,07	0,26	0,65	20,96	20,64	0,09	0,30	1,44	19,03	18,72	0,09	0,30	1,61				
Smrk	0,43					51,54					7,36					0,12						0,00					40,56						20,24						18,31					
Akát	0,76					51,63					7,08					0,29						0,00					40,24						20,15						18,29					
Akát	0,82	0,81	0,00	0,05	5,58	51,43	51,62	0,02	0,15	0,29	7,14	7,03	0,01	0,11	1,60	0,24	0,25	0,00	0,03	11,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,37	40,29	0,00	0,06	0,15	20,01	20,09	0,00	0,06	0,29	18,15	18,25	0,01	0,07	0,39				
Akát	0,87					51,80					6,88					0,22						0,00					40,24						20,11						18,31					
Buk	0,51					49,69					6,79					0,09						0,00					42,92						18,96						17,26					
Buk	0,53	0,53	0,00	0,01	1,99	49,50	49,57	0,01	0,09	0,17	6,82	6,81	0,00	0,01	0,20	0,10	0,09	0,00	0,00	5,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,05	43,01	0,00	0,06	0,15	19,32	19,19	0,03	0,16	0,85	17,61	17,49	0,03	0,16	0,91				
Buk	0,53					49,52					6,81					0,08						0,00					43,06						19,29						17,59					
Bříza	0,29					50,16					6,95					0,11						0,00					42,49						19,70						17,95					
Bříza	0,28	0,29	0,00	0,00	1,72	50,19	50,19	0,00	0,02	0,05	6,99	6,95	0,00	0,04	0,51	0,13	0,11	0,00	0,02	15,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,41	42,46	0,00	0,04	0,09	20,02	19,70	0,07	0,26	1,34	18,26	17,95	0,06	0,25	1,42				
Bříza	0,30					50,22					6,91					0,09						0,00					42,49						19,37						17,63					
Borovice	0,22					51,78					7,10					0,08						0,00					40,82						20,38						18,57					
Borovice	0,24	0,26	0,00	0,04	16,24	51,50	51,69	0,02	0,14	0,26	7,09	7,10	0,00	0,01	0,18	0,13	0,11	0,00	0,02	20,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,04	40,84	0,02	0,16	0,38	20,32	20,42	0,01	0,10	0,48	18,51	18,61	0,01	0,10	0,53				
Borovice	0,32					51,79					7,12					0,11						0,00					40,66						20,55						18,75					
Švestka	0,16					52,07					6,74					0,07						0,00					40,97						19,96						18,23					
Švestka	0,17	0,15	0,00	0,01	5,86	51,71	51,81	0,04	0,19	0,36	6,71	6,70	0,00	0,03	0,44	0,09	0,09	0,00	0,01	16,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,32	41,25	0,04	0,20	0,49	19,85	19,90	0,00	0,04	0,22	18,14	18,19	0,00	0,04	0,20				
Švestka	0,14					51,64					6,67					0,10						0,00					41,45						19,89						18,19					
Olše	0,36					50,77					6,88					0,19						0,00					41,80						19,64						17,89					
Olše	0,33	0,34	0,00	0,02	4,63	50,66	50,71	0,00	0,05	0,09	6,89	6,86	0,00	0,04	0,55	0,11	0,16	0,00	0,03	19,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,00	41,93	0,01	0,09	0,22	19,57	19,62	0,00	0,04	0,19	17,82	17,88	0,00	0,04	0,24				
Olše	0,33					50,71					6,81					0,16						0,00					41,99						19,65						17,92					
Javor	0,57					50,15					7,86					0,11						0,00					41,31						19,66						17,45					
Javor	0,66	0,67	0,01	0,08	12,59	50,42	50,20	0,03	0,16	0,32	7,88	7,88	0,00	0,02	0,23	0,15	0,13	0,00	0,02	12,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,89	41,12	0,03	0,17	0,43	19,68	19,68	0,00	0,01	0,06	17,46	17,46	0,00	0,01	0,03				
Javor	0,77					50,03					7,90					0,13						0,00					41,16						19,69						17,46					

$\bar{x}$  - průměrná hodnota

$s^2$  - výběrový rozptyl

s - směrodatná odchylka

V - variační koeficient

Příloha 7 – Kompletní výsledky elementární analýzy – hořlavina

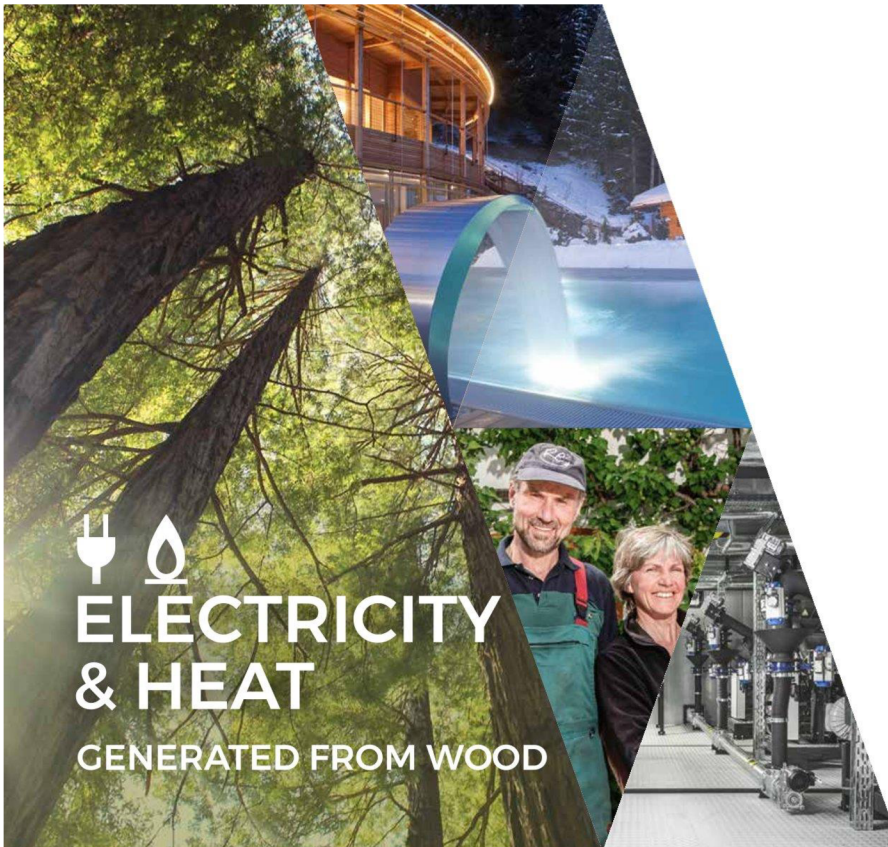
Strom	Hořlavina																																		
	C					H					N					S					O					Spalné teplo					Výhřevnost				
	% hm.	$\bar{x}$	$s^2$	s	V	% hm.	$\bar{x}$	$s^2$	s	V	% hm.	$\bar{x}$	$s^2$	s	V	% hm.	$\bar{x}$	$s^2$	s	V	% hm.	$\bar{x}$	$s^2$	s	V	MJ.kg <sup>-1</sup>	$\bar{x}$	$s^2$	s	V	MJ.kg <sup>-1</sup>	$\bar{x}$	$s^2$	s	V
Jasan	51,33					9,64					0,23					0,00					38,81					20,60					17,64				
Jasan	50,90	51,03	0,04	0,21	0,41	9,33	9,46	0,02	0,13	1,39	0,16	0,20	0,00	0,03	13,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,60	39,32	0,13	0,36	0,92	20,44	20,26	0,14	0,38	1,87	17,57	17,36	0,12	0,34	1,99
Jasan	50,86					9,40					0,20					0,00					39,54					19,73					16,87				
Smrk	52,25					7,32					0,09					0,00					40,34					20,82					18,90				
Smrk	52,42	52,14	0,08	0,28	0,54	7,36	7,36	0,00	0,03	0,36	0,12	0,11	0,00	0,01	12,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,10	40,39	0,07	0,26	0,65	21,05	20,73	0,09	0,30	1,44	19,12	18,80	0,09	0,30	1,61
Smrk	51,76					7,39					0,12					0,00					40,73					20,33					18,39				
Akát	52,02					7,14					0,29					0,00					40,55					20,30					18,43				
Akát	51,85	52,04	0,03	0,16	0,31	7,19	7,09	0,01	0,11	1,57	0,25	0,25	0,00	0,03	11,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,71	40,62	0,00	0,07	0,16	20,17	20,25	0,00	0,06	0,28	18,30	18,40	0,01	0,07	0,39
Akát	52,25					6,94					0,22					0,00					40,59					20,29					18,47				
Buk	49,95					6,82					0,09					0,00					43,14					19,06					17,35				
Buk	49,76	49,83	0,01	0,08	0,16	6,86	6,84	0,00	0,01	0,21	0,10	0,09	0,00	0,00	5,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,28	43,24	0,00	0,07	0,16	19,42	19,29	0,03	0,17	0,86	17,71	17,58	0,03	0,16	0,92
Buk	49,78					6,84					0,08					0,00					43,29					19,39					17,68				
Bříza	50,31					6,97					0,11					0,00					42,61					19,76					18,00				
Bříza	50,33	50,34	0,00	0,03	0,05	7,01	6,97	0,00	0,04	0,51	0,13	0,11	0,00	0,02	15,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,53	42,58	0,00	0,04	0,09	20,08	19,76	0,07	0,26	1,33	18,31	18,00	0,06	0,25	1,41
Bříza	50,37					6,93					0,09					0,00					42,61					19,43					17,69				
Borovice	51,90					7,11					0,08					0,00					40,91					20,42					18,62				
Borovice	51,62	51,82	0,02	0,15	0,28	7,11	7,12	0,00	0,02	0,22	0,13	0,11	0,00	0,02	20,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,14	40,95	0,02	0,14	0,35	20,37	20,47	0,01	0,11	0,52	18,56	18,66	0,01	0,11	0,56
Borovice	51,96					7,14					0,11					0,00					40,79					20,62					18,81				
Švestka	52,15					6,75					0,07					0,00					41,03					19,99					18,26				
Švestka	51,80	51,89	0,04	0,19	0,37	6,72	6,71	0,00	0,03	0,44	0,09	0,09	0,00	0,01	16,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,39	41,31	0,04	0,20	0,49	19,89	19,93	0,00	0,04	0,22	18,17	18,21	0,00	0,03	0,19
Švestka	51,71					6,67					0,10					0,00					41,51					19,92					18,22				
Olše	50,96					6,90					0,19					0,00					41,95					19,72					17,96				
Olše	50,83	50,89	0,00	0,05	0,11	6,92	6,88	0,00	0,04	0,56	0,11	0,16	0,00	0,03	19,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,14	42,07	0,01	0,09	0,21	19,63	19,69	0,00	0,04	0,20	17,88	17,94	0,00	0,04	0,24
Olše	50,87					6,83					0,16					0,00					42,13					19,71					17,97				
Javor	50,44					7,90					0,11					0,00					41,55					19,77					17,55				
Javor	50,75	50,54	0,02	0,15	0,30	7,93	7,93	0,00	0,02	0,31	0,15	0,13	0,00	0,02	12,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,16	41,40	0,03	0,17	0,41	19,82	19,81	0,00	0,03	0,14	17,57	17,57	0,00	0,02	0,12
Javor	50,42					7,96					0,13					0,00					41,48					19,84					17,60				

$\bar{x}$  - průměrná hodnota

$s^2$  - výběrový rozptyl

s - směrodatná odchylka

V - variační koeficient



   
**ELECTRICITY  
& HEAT**  
GENERATED FROM WOOD

## **ELECTRICITY & HEAT**

### **GENERATED FROM WOOD**

Motivated by the pioneer Bernd Joos, a small team from Spanner Re<sup>2</sup> GmbH ventured into wood gasifier technology in 2007. Together with our first customers, we successfully brought this exciting technology to market and have installed more than 700 Biomass CHP globally.

We are convinced that „wood power“ in German "Holz-Kraft" will play a significant part in the future of Renewable Energies. The technology generates power and heat from the domestic and renewable resource of wood, regardless of weather. With wood power, you can take care of your energy supply by yourself, and become independent from big corporations as well as fossil energy imports. We offer tailor-made complete solutions and know-how generated from more than 20,000,000 hours of operation. Get into partnership with us to ensure your business has a sustainable energy future.

  
**Thomas Bleul**  
Director Spanner Re<sup>2</sup> GmbH



”

The sun radiates 3,600 times more energy to the earth than we consume, only to capture, store and make use of it. Biomass or wood is like stored solar energy and we have an enormous worldwide natural reserve of it. With our technology, we are able to transform biomass into power and heat by using wood that is produced during thinning or wood processing.







## BIOMASS CHP FROM RE<sup>2</sup>

The Re<sup>2</sup> Biomass CHP generates electricity and heat according to the principle of combined heat and power (CHP). The unit consists of a wood gasifier and the combined heat and power unit (CHP). The generated electricity will either be consumed by the owner or sold into the grid. The heat generated during the process can be used for the heating of buildings, for drying grain and wood or in district heating systems.



### WOOD GASIFIER

The reformer is the heart of the plant. It produces wood gas from natural wood chips in a controlled process, which works on the downdraft principle: the wood chips and the wood gas moves in the same direction. With our patented and proven technology we produce an extremely clean wood gas.

### CHP

The cooled wood gas passes through two filter systems, before it drives a powerful engine, which produces the electricity and heat.

3



## 20,000,000 HOURS EXPERIENCE

Biomass CHP from Re<sup>2</sup> is built on the experience gained from over 20,000,000 operating hours. Our Biomass CHP units have proved themselves all over the world and show that sustainability and economy can be achieved simultaneously. Our vast experience and technology development as a pioneer in this field make Re<sup>2</sup> the leading manufacturer of Biomass CHP.

Our company was established in 2004 as a business unit called „Renewable Energies“ of the Spanner Group. With over 80 qualified and dedicated employees in Neufahrn in Germany, we constantly progress the optimization of our pioneering energy technology and always strive towards our main goal: To make Renewable Energies competitive!



4

# TRANSFORM YOUR BUSINESS WITH BIOMASS CHP

By cleverly converting regionally available wood chips into electricity and heat, a variety of diverse business operators are benefiting from the many advantages of Biomass CHP.



5



SMALL BUSINESS



WELLNESS & SPA



WOOD PROCESSING BUSINESS



AGRICULTURE / FORESTRY



HOTEL & RESTAURANT



PUBLIC INSTITUTION



INDUSTRY



DISTRICT HEATING



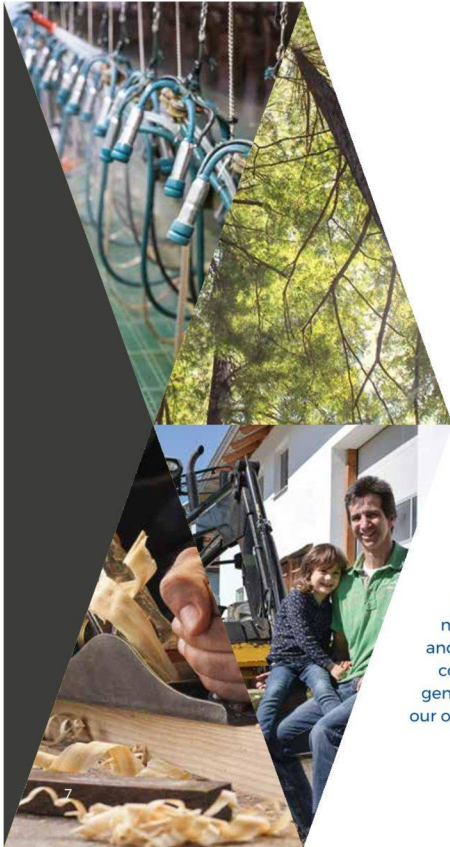
## HKA 10

### TECHNICAL DATA

Electrical power	9 kW
Heat power	22 kW
Wood chip quality	Natural wood Max. water content <13% Max. fines (<4 mm grain size) 30%
Wood chip consumption*	0,9 kg/kWh <sub>el</sub>
Dimensions**	2,10 x 1,40 x 2,20 m (LxWxH)
Flow temperature	Max. 85°C
Return temperature	Max. 60°C
Control	Intelligent control technology with modern touch display
Planning	Quick installation of the system through "Plug & Play" connections

\* Depending on the quality of the wood chips.  
\*\* Dimensions without sluice. Technical data: 05/2017.

6

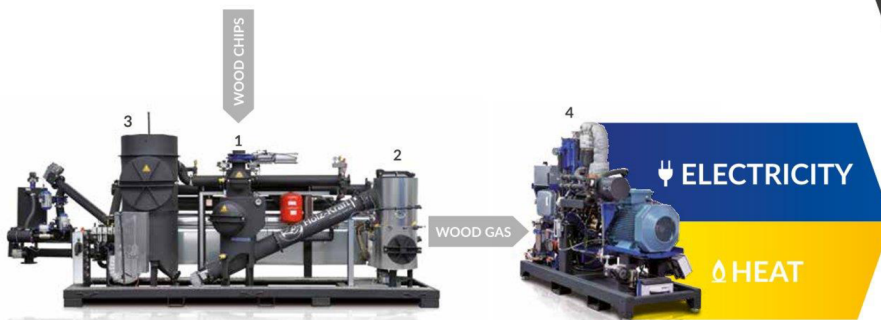


## YOUR PATH TO HEAT & ENERGY INDEPENDENCE

In the field of bioenergy, Re<sup>2</sup>'s HKA 10 is revolutionary. With 9 kW<sub>el</sub> and 22 kW<sub>th</sub>, it is one of the **smallest Biomass CHP of its kind**. The wood gasifier and the CHP are housed in one casing. This saves space and makes the system **particularly compact**. Another great advantage is that the HKA 10 offers the **flexibility of using various different types of wood**. It operates with natural wood chips, as well as pellets and briquettes. It is developed for **self-supply** and ideal for businesses with high demands of electricity and heat. It operates with **high efficiency**, is **environmentally friendly** and makes you independent of fossil fuels.

”

Conventional energy production with the negative consequences, cost dependencies and the central energy policy, have made me consider other options. With the HKA 10 we generate electricity and heat at any time with our own wood. We are independent and that is a good feeling.  
**Andreas Huber, Germany**



### 1. FEED OF FUEL

The conveying screw automatically transports the fuel from the fuel bunker to the Biomass CHP. An integrated metal interceptor in the fuel sewer port separates foreign material. A second conveyor screw transports the fuel to the reformer.



### 2. REFORMER

The reformer is the heart of the Biomass CHP. It produces almost tar-less wood gas by our special pyrolysis process. The innovative structure of the reformer offers high fuel flexibility. Using a compact fire bed with temperature monitoring, we guarantee a regulated wood gas production that ensures the efficiency of our Biomass CHP.



### 3. WOOD GAS FILTER

The produced wood gas is cooled by the heat exchanger and passes through a wood gas filter with integrated self-cleaning.



### 4. CHP

The solid engine burns the gas and converts the energy of the wood gas into kinetic energy. A powerful generator transforms the rotation into electricity. In addition the CHP produces heat, which makes the whole process highly efficient.



# HKA 35/45/49

## TECHNICAL DATA

	HKA 35	HKA 45	HKA 49
Electrical power	35 kW	45 kW	49 kW
Heat power	79,5 kW	102,2 kW	111,3 kW
Wood chip quality	Natural wood Max. water content <13% Max. fines (<4 mm grain size) 30%		
Wood chip consumption*	0,9 kg/kWh <sub>el</sub>	0,9 kg/kWh <sub>el</sub>	0,9 kg/kWh <sub>el</sub>
Dimensions wood gasifier	5,27 x 1,54 x 2,30 m (LxWxH)		
Dimensions CHP	2,60 x 0,92 x 2,19 m (LxWxH)		
Flow temperature	Max. 85°C		
Return temperature	Max. 65°C		
Control	Intelligent control technology with modern touch display		
Planning	Flexible installation		

\* Depending on the quality of the wood chips. Technical data: 05/2017.

9



”

We place great importance on sustainability and, of course, also in terms of energy supply. We consistently evolve and improve our Biomass CHP technology and enhance its performance.  
**Organic Farmer Josef Braun, Germany**



The Biomass CHP HKA 35, HKA 45 and HKA 49 consist of a wood gasifier unit and a combined heat and power plant (CHP). Several hundred of these approved Biomass CHP are in operation around the world and produce large amounts of electricity and heat for big companies or wellness resorts. The average running time of the Biomass CHP is around 8,000 operating hours per year. Many of our customers have an annual running time of over 8,500 hours, which results in plant availability from 98 percent. This is possible by the patented wood power technology, a precise production and the continuous drive to develop this technology further. The most recent innovation is the new design of the reformer on the HKA 49. Together with the highly efficient 8-litre engine, we have launched a superior product with exceptional performance on the market.



## MAJOR PROJECTS WITH WOOD POWER

We not only offer you the technology to produce energy from the wood sourced locally to you, but also the necessary know-how gained from the experience of numerous major projects. The modular design of our Biomass CHP makes it possible to combine several plants up to 3 MW<sub>el</sub> in a cascade. Depending on the heat demand, the systems are operated together or independently, which allows a particularly good partial load ability and maximum flexibility. Major projects with wood power have proven themselves many times and provide the highest levels of sustainability. Compared to energy produced by fossil-fuel, Biomass CHP provides the added value of „wood power“ sourced locally and cost effectively.



### FRUIT FARM COUNTS ON BIOMASS CHP CASCADE

Since 2016 three 45 kW Biomass CHP supply a large soft fruit grower in Scotland. The fruit farm requires a considerable amount of heat and electricity, which is reduced by using Biomass CHP.

### BENEFITS OF OUR BIOMASS CHP CASCADE:

- Highest flexibility
- Maximum failure safety
- Needs-based services
- Sophisticated technology
- Simple logistics
- Fast installation
- Great experience from the world market leader

### MAJOR PROJECT IN LATIVA

Since 2013 20 Biomass CHP (HKA 45) with 900 kW<sub>el</sub> as well as 2 MW<sub>th</sub> are in operation at a local district heating in Jēkabpils.



10



# ENERGYBLOCK

## THE TURNKEY COMPLETE SOLUTION

The Re<sup>2</sup> EnergyBlock is unique to the bioenergy industry. It is a perfectly coordinated complete system, consisting of a wood gasifier unit, a combined heat and power unit (CHP) and intelligent regulation. Compact in 20- or 40-foot containers, all components are pre-installed and perfectly adapted to your individual requirements. This not only simplifies the installation, but also allows extremely fast start up, so you can benefit straight away. The space-saving design allows variable installation possibilities and can be operated with wood chips, pellets or briquettes.



### WOOD CHIP DRYING SYSTEMS

In addition to the construction of Biomass CHP and biomass boilers, we are specialists in the production of automated wood chip drying systems. System components such as fuel dryers, conveyor systems or our ash removal systems are accurately combined and fitted to guarantee smooth operation.

11



### OFFGRID & DIESEL GENERATOR REPLACEMENT

The Re<sup>2</sup> EnergyBlock offers an excellent opportunity to replace existing expensive electricity from diesel units. Especially in isolated regions, like the forests of Canada, our EnergyBlock is the ideal solution for generating an environmentally friendly energy supply where its needed the most.



Spanner Re<sup>2</sup> GmbH  
Niederfeldstraße 38  
84088 Neufahrn i. NB, Germany

Phone: + 49 (0) 8773 707 98 - 0  
Fax: + 49 (0) 8773 707 98 - 299  
Email: [info@holz-kraft.de](mailto:info@holz-kraft.de)  
Web: [www.holz-kraft.com](http://www.holz-kraft.com)

VISIT US ON



© 2014 Re<sup>2</sup> GmbH. All rights reserved. Photo: [www.re2.de](http://www.re2.de)



Příloha 10 – Projekce cash flow vybrané zplyňovací jednotky za projektované období

Položky Cash flow	M.J.	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Výnosy	Kč	1 114 882	1 114 882	1 114 882	1 114 882	1 114 882	1 114 882	1 114 882	1 114 882	1 114 882	1 114 882	1 114 882	1 114 882	1 114 882	1 114 882	1 114 882
Náklady	Kč	-947 859	-947 859	-947 859	-947 859	-947 859	-947 859	-947 859	-947 859	-947 859	-947 859	-947 859	-947 859	-947 859	-947 859	-947 859
EBITDA	Kč	167 023	167 023	167 023	167 023	167 023	167 023	167 023	167 023	167 023	167 023	167 023	167 023	167 023	167 023	167 023
Odpisy	Kč	-113 035	-188 635	-188 635	-188 635	-188 635	-188 635	-166 385	-166 385	-135 135	-135 135	0	0	0	0	0
EBIT	Kč	53 988	-21 612	-21 612	-21 612	-21 612	-21 612	638	638	31 888	31 888	167 023	167 023	167 023	167 023	167 023
Nákladové úroky	Kč	-81 850	-76 393	-70 937	-65 480	-60 023	-54 567	-49 110	-43 653	-38 197	-32 740	-27 283	-21 827	-16 370	-10 913	-5 457
EBT	Kč	-27 862	-98 005	-92 548	-87 092	-81 635	-76 178	-48 472	-43 015	-6 308	-852	139 740	145 197	150 653	156 110	161 567
Daň z příjmu	Kč	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-26 551	-27 587	-28 624	-29 661	-30 698
Čistý HV	Kč	-27 862	-98 005	-92 548	-87 092	-81 635	-76 178	-48 472	-43 015	-6 308	-852	113 189	117 609	122 029	126 449	130 869
Tvorba fondů	Kč	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Disponibilní zisk	Kč	-27 862	-98 005	-92 548	-87 092	-81 635	-76 178	-48 472	-43 015	-6 308	-852	113 189	117 609	122 029	126 449	130 869
Odpisy	Kč	113 035	188 635	188 635	188 635	188 635	188 635	166 385	166 385	135 135	135 135	0	0	0	0	0
Cash flow	Kč	85 173	90 630	96 087	101 543	107 000	112 457	117 913	123 370	128 827	134 283	113 189	117 609	122 029	126 449	130 869
Splátka jistiny úvěru	Kč	-109 133	-109 133	-109 133	-109 133	-109 133	-109 133	-109 133	-109 133	-109 133	-109 133	-109 133	-109 133	-109 133	-109 133	5 457
Netto cash flow	Kč	-23 960	-18 503	-13 047	-7 590	-2 133	3 323	8 780	14 237	19 693	25 150	4 056	8 476	12 896	17 316	136 326
Cash flow kumulované	Kč	-23 960	-42 463	-55 510	-63 100	-65 234	-61 910	-53 130	-38 894	-19 200	5 950	10 006	18 482	31 377	48 693	185 019
Sučasná hodnota NCF1	Kč	-23 376	-17 612	-12 115	-6 876	-1 886	2 866	7 386	11 685	15 769	19 647	3 091	6 302	9 355	12 255	94 128
Sučasná hodnota NCF1 kumulovaná	Kč	-23 376	-40 987	-53 103	-59 979	-61 864	-58 999	-51 612	-39 928	-24 159	-4 512	-1 420	4 882	14 237	26 492	120 620
Sučasná hodnota NCF2	Kč	-22 473	-16 278	-10 765	-5 874	-1 549	2 263	5 607	8 528	11 064	13 253	2 005	3 929	5 607	7 062	52 148