

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ
TECHNIKY

**Technicko-ekonomická studie technologie gasifikace
odpadu**

DIPLOMOVÁ PRÁCE



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pekař** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **408789**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Procesní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Technicko-ekonomická studie technologie gasifikace odpadu

Název diplomové práce anglicky:

Waste gasification - a techno-economic study

Pokyny pro vypracování:

- 1) Zpracujte rešerši na téma gasifikace odpadů a vyhodnoťte potenciál jejího využití.
- 2) Vypracujte technicko-ekonomické zhodnocení gasifikace pro 2 gasifikační média.

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího práce.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Lukáš Krátký, Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS


Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **31.10.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.01.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **09.02.2020**


doc. Ing. Lukáš Krátký, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

31.10.2019

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma zplyňování biomasy na ČVUT v Praze, vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce doc. Ing. Lukáše Krátkého, Ph.D. a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne.....

.....

Martin Pekař

Poděkování

Rád bych touto formou poděkoval hlavně panu doc. Ing. Lukáši Krátkému, Ph.D. za odborné vedení, rady, konzultace a nesmírnou trpělivost během vypracovávání této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Moravcovi, Ph.D. za rady, týkající se hmotnostních bilancí.

Anotační list

| | |
|------------------------------|--|
| Jméno autora: | Martin |
| Příjmení autora: | Pekař |
| Název práce česky: | Technicko-ekonomická studie technologie gasifikace odpadu |
| Název práce anglicky: | Waste gasification – a techno-economic study |
| Rozsah práce: | počet stran: 108 počet obrázků: 17 počet tabulek: 68 počet grafů: 12 počet příloh: 6 |
| Akademický rok: | 2019/2020 |
| Jazyk práce: | čeština |
| Ústav: | Ú 12 118 – Ústav procesní a zpracovatelské techniky |
| Studijní program: | Strojní inženýrství – Procesní technika |
| Vedoucí práce: | doc. Ing. Lukáš Krátký, PhD. |
| Oponent: | |
| Zadavatel: | ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ú12118 |

Anotace česky:

Tato diplomová práce se v první části zabývá rešerší, která popisuje biomasu, její využití a vlastnosti. Dále je popisován proces zplyňování, se zaměřením na porovnání zplyňovacích generátorů (gasifikátorů). V druhé části se zaměřuje na hmotnostní, energetickou, a hlavně ekonomickou bilanci pro vybranou technologii, jejíž výstupem je zhodnocení rentability a doby návratnosti zplyňovacího procesu biomasy. Výpočty jsou provedeny pro dva případy media, vzduchu a páry. Kde následně je uvedeno porovnání procesů při působení těchto dvou medií. Posledním krokem je úvaha o celkové

technologii a citlivostní analýza, která ukazuje vlivy jednotlivých surovin na rentabilitu projektu.

Klíčová slova: biomasa, odpad, zplyňování, bilance, gasifikátor, doba návratnosti

Anotace anglicky: This diploma thesis in its first part deals with literature search which describes biomass, its use and characteristics. Further, the gasification process is described, focusing on the comparison of gasification generators (gasifiers). In the second part the thesis is focused on weight, energy and especially economic balance for selected technology, the output of which is an evaluation of profitability and payback time of the biomass gasification process. Calculations are made for two cases, air media and steam media, where sequentially a comparison of the processes in the action of the two media is given. Last step of the thesis is a reflection on the overall technology and sensitivity analysis, which shows the effects of individual raw materials on the profitability of the project.

Klíčová slova: biomass, waste, gasification, balance, gasifier, payback time

Použité symboly

| | | |
|-----------|--|---------------------------------------|
| Q | Tepelný výkon | [kW] |
| T | Teplota | [°C] |
| X | Hmotnostní podíl, hmotnostní procento | [% hm.] |
| p | Tlak | [kPa] |
| m | Hmotnost | [kg] |
| \dot{m} | Hmotnostní průtok | [kg/s] |
| V | Objem | [m ³] |
| \dot{V} | Objemový průtok | [m ³ /s] |
| W | Mechanický výkon | [W, kW] |
| c_p | Měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku | [J/(kg·K)] |
| h_r | Reakční teplo | [kJ/kg] |
| C_e | Výsledná cena v | [USD, Kč] |
| a | Koeficient | [USD, Kč] |
| b | Koeficient | [USD, Kč] |
| n | Index | [-] |
| ρ | Hustota | [kg/m ³] |
| S | Plocha | [m ²] |
| k | Součinitel prostupu tepla | [W/(m ² ·K ¹)] |
| DN | Doba návratnosti | [roky] |
| v | Rychlost | [m ² /s] |

Použité zkratky

EU Evropská Unie

ČR Česká republika

VT výměník tepla

ROI return of investment (doba návratnosti)

MS Microsoft

IGCC Integrated Gasification Combined Cycle (Integrovaný kombinovaný cyklus zplyňování)

VDJ velká dobytčí jednotka

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 - Schéma přeměny biomasy..... | 21 |
| Obrázek 2 - Schéma uhlíkového cyklu při spalování biomasy..... | 23 |
| Obrázek 3 - Přeměna bioplynu na konečné produkty..... | 26 |
| Obrázek 4 - Průběh reakcí v reaktoru s pevným ložem souproud..... | 34 |
| Obrázek 5 - Průběh reakcí v reaktoru s pevným ložem protiproud..... | 34 |
| Obrázek 6 - Schéma reaktoru s křížovým ložem..... | 37 |
| Obrázek 7 - Schéma reaktoru s fluidním ložem..... | 38 |
| Obrázek 8 - Schéma zplyňování s využitím parní turbíny..... | 40 |
| Obrázek 9 - Schéma zplyňování s využitím plynového motoru..... | 40 |
| Obrázek 10 - Schéma zplyňování s využitím paroplynového cyklu..... | 41 |
| Obrázek 11 - Schéma zplyňování v elektrárně Kozomín..... | 42 |
| Obrázek 12 - Schéma zplyňování..... | 43 |
| Obrázek 13 - Blokový diagram technologie zplyňování..... | 45 |
| Obrázek 14 - Blokové schéma výroby produktového plynu..... | 45 |
| Obrázek 15 - Umístění haly pro zplyňovací proces..... | 57 |
| Obrázek 16 - Letecký pohled na pozemek haly..... | 58 |
| Obrázek 17 - Informace o pozemku z portálu státní správy zeměměřičství a katastru.... | 58 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 - Souhrn energetického potenciálu ze zemědělské půdy..... | 24 |
| Tabulka 2 - Predikce vývoje produkce komunálního odpadu v čase..... | 25 |
| Tabulka 3 - Přehled hlavních zdrojů biomasy v ČR..... | 29 |
| Tabulka 4 – Porovnání reaktorů..... | 39 |
| Tabulka 5 - Vstupní hodnoty-hmotnostní bilance-vzduch..... | 47 |
| Tabulka 6 - Výstupní hodnoty-hmotnostní bilance-vzduch..... | 48 |
| Tabulka 7 - Výstupní hodnoty produktového plynu-hmotnostní bilance-vzduch..... | 48 |
| Tabulka 8 - Průtoky v jednotlivých proudech-hmotnostní bilance-vzduch..... | 49 |
| Tabulka 9 - Vstupní hodnoty pro výpočet tepelného výkonu gasifikátoru-vzduch..... | 49 |
| Tabulka 10 - Vstupní hodnoty pro výpočet tepelného výkonu výměníku tepla-vzduch..... | 50 |
| Tabulka 11 - Hodnoty pro výpočet ceny zásobníku biomasy B-111..... | 51 |
| Tabulka 12 - Hodnoty pro výpočet ceny šnekového dopravníku H-112..... | 52 |
| Tabulka 13 - Hodnoty pro výpočet ceny zplyňovacího generátoru s fluidním ložem (gasifikátor) D-121..... | 52 |
| Tabulka 14 - Hodnoty pro výpočet ceny cyklonového odlučovače F-131..... | 53 |
| Tabulka 15 - Vstupní hodnoty pro výpočet VT..... | 53 |
| Tabulka 16 - Vstupní hodnoty studené vody pro výpočet VT..... | 53 |
| Tabulka 17 - Hodnoty pro výpočet ceny VT W-141..... | 54 |
| Tabulka 18 - Hodnoty pro výpočet ceny dmyhadla V-113..... | 54 |
| Tabulka 19 - Hodnoty pro výpočet ceny dmyhadla V-152..... | 55 |
| Tabulka 20 - Hodnoty pro výpočet ceny čerpadla P-171..... | 55 |
| Tabulka 21 - Hodnoty pro výpočet ceny zásobníku popelovin B-161 a B-181..... | 55 |
| Tabulka 22 - Celkové náklady na procesní aparáty (zařízení)..... | 56 |
| Tabulka 23 - Celkové náklady na stavbu..... | 58 |

| | |
|---|----|
| Tabulka 24 - Celkové fixní kapitálové investice..... | 59 |
| Tabulka 25 - Splácení úvěru..... | 60 |
| Tabulka 26 - Cena biomasy..... | 61 |
| Tabulka 27 - Cena vzduchu..... | 61 |
| Tabulka 28 - Cena vody..... | 62 |
| Tabulka 29 - Cena elektřiny..... | 62 |
| Tabulka 30 - Osobní náklady na obsluhu..... | 62 |
| Tabulka 31 - Odpisy..... | 63 |
| Tabulka 32 - Provozní náklady, zdanitelné náklady, zisk a daně..... | 64 |
| Tabulka 33 - Typy ziskovosti..... | 65 |
| Tabulka 34 - Vstupní hodnoty-hmotnostní bilance-pára..... | 67 |
| Tabulka 35 - Výstupní hodnoty-hmotnostní bilance-pára..... | 67 |
| Tabulka 36 - Výstupní hodnoty produktového plynu-hmotnostní bilance-pára..... | 68 |
| Tabulka 37 - Průtoky v jednotlivých proudech-hmotnostní bilance-pára..... | 68 |
| Tabulka 38 - Vstupní hodnoty pro výpočet tepelného výkonu gasifikátoru-pára..... | 69 |
| Tabulka 39 - Vstupní hodnoty pro výpočet tepelného výkonu výměníku tepla-pára..... | 69 |
| Tabulka 40 - Hodnoty pro výpočet ceny zásobníku biomasy B-111..... | 71 |
| Tabulka 41 - Hodnoty pro výpočet ceny šnekového dopravníku H-112..... | 71 |
| Tabulka 42 - Hodnoty pro výpočet ceny zplyňovacího generátoru s fluidním ložem (gasifikátor) D-121..... | 72 |
| Tabulka 43 - Hodnoty pro výpočet ceny cyklonového odlučovače F-131..... | 72 |
| Tabulka 44 - Vstupní hodnoty pro výpočet VT..... | 72 |
| Tabulka 45 - Vstupní hodnoty studené vody pro výpočet VT..... | 73 |
| Tabulka 46 - Hodnoty pro výpočet ceny VT W-141..... | 73 |
| Tabulka 47 - Hodnoty pro výpočet ceny zásobníku biomasy B-111..... | 74 |

| | |
|--|----|
| Tabulka 48 - Hodnoty pro výpočet ceny dmyhadla V-152..... | 74 |
| Tabulka 49 - Hodnoty pro výpočet ceny čerpadla P-171..... | 74 |
| Tabulka 50 - Hodnoty pro výpočet ceny zásobníku popelovin B-161 a B-181..... | 75 |
| Tabulka 51 - Celkové náklady na procesní aparáty (zařízení)..... | 75 |
| Tabulka 52 - Celkové fixní kapitálové investice..... | 76 |
| Tabulka 53 - Splácení úvěru..... | 77 |
| Tabulka 54 - Cena biomasy..... | 79 |
| Tabulka 55 - Cena páry..... | 79 |
| Tabulka 56 - Cena vody..... | 79 |
| Tabulka 57- Cena elektřiny..... | 79 |
| Tabulka 58 - Osobní náklady na obsluhu..... | 80 |
| Tabulka 59 - Odpisy..... | 80 |
| Tabulka 60 - Provozní náklady, zdanitelné náklady, zisk a daně..... | 81 |
| Tabulka 61 - Typy ziskovosti..... | 82 |
| Tabulka 62 - Porovnání vstupních surovin a výstupních produktů..... | 84 |
| Tabulka 63 - Porovnání energetických tepelných výkonů..... | 84 |
| Tabulka 64 - Porovnání fixních nákladů..... | 85 |
| Tabulka 65 - Porovnání celkových fixních nákladů..... | 86 |
| Tabulka 66 - Porovnání potenciální sumy za prodaný produktový plyn..... | 87 |
| Tabulka 67 - Porovnání přímých a nepřímých provozních nákladů..... | 88 |
| Tabulka 68 - Porovnání typů ziskovosti..... | 89 |

Seznam grafů

| | |
|---|----|
| Graf 1 - Výroba a spotřeba bionafty v České republice od roku 2007 do poloviny roku 2016..... | 27 |
| Graf 2 - Výroba a spotřeba bioetanolu v České republice od roku 2007 do poloviny roku 2016..... | 28 |
| Graf 3 - Graf celosvětového nárustu zplyňování na synteticky vyrobený plyn..... | 32 |
| Graf 4 - Přehledný graf pro porovnání účinnosti a výkonu..... | 44 |
| Graf 5 - Průběh diskontovaného cashflow a diskontovaného kumulovaného cashflow projektu..... | 65 |
| Graf 6 - Průběh diskontovaného cashflow a diskontovaného kumulovaného cashflow projektu..... | 83 |
| Graf 7 - Grafické porovnání doby návratnosti..... | 90 |
| Graf 8 - Grafické doby návratnosti při zvýšení energetické náročnosti..... | 93 |
| Graf 9 - Citlivostní analýza ceny biomasy..... | 96 |
| Graf 10 - Citlivostní analýza ceny biomasy..... | 97 |
| Graf 11 - Citlivostní analýza prodejní ceny produktového plynu..... | 98 |
| Graf 12 - Citlivostní analýza stavby..... | 99 |

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Použité symboly | 7 |
| Použité zkratky | 8 |
| Seznam obrázků | 9 |
| Seznam tabulek | 10 |
| Seznam grafů | 13 |
| 1 Úvod | 17 |
| 1.1 Cíl diplomové práce | 18 |
| 2 Biomasa | 20 |
| 2.1 Potenciál biomasy | 23 |
| 2.2 Další biopaliva | 26 |
| 2.2.1 Bioplyn..... | 26 |
| 2.2.2 Bionafta..... | 27 |
| 2.2.3 Bioetanol..... | 28 |
| 3 Zplyňování | 31 |
| 3.1 Reakce zplyňování | 32 |
| 3.2 Procesy při zplyňování | 33 |
| 3.2.1 Sušení..... | 34 |
| 3.2.2 Pyrolýza | 34 |
| 3.2.3 Oxidace | 35 |
| 3.2.4 Redukce | 36 |
| 3.2.5 Porovnání souproudeho a protiproudeho reaktoru s pevným ložem | 36 |
| 3.2.6 Generátor s fluidním ložem | 37 |
| 3.2.7 Porovnání generátorů | 39 |
| 3.2.8 Schéma zplyňovacích jednotek..... | 39 |
| 4 Využití produktového plynu | 43 |
| 5 Praktická část | 45 |

| | | |
|--------|--|----|
| 5.1 | Obecná definice vstupních podmínek | 45 |
| 5.2 | Zplyňování dřevní štěrky se vzduchem | 46 |
| 5.2.1 | PFD schéma | 46 |
| 5.2.2 | Vstupní surovina | 46 |
| 5.2.3 | Výstupní produkty | 46 |
| 5.2.4 | Popis zpracování dřevní štěrky při výrobě produktového plynu | 46 |
| 5.2.5 | Hmotnostní bilance | 47 |
| 5.2.6 | Energetická bilance | 49 |
| 5.2.7 | Určení cen zařízení | 50 |
| 5.2.8 | Stavba..... | 56 |
| 5.2.9 | Celkové fixní kapitálové investice..... | 59 |
| 5.2.10 | Splacení úvěru..... | 59 |
| 5.2.11 | Roční prodejní cena plynu | 60 |
| 5.2.12 | Přímé provozní náklady | 61 |
| 5.2.13 | Nepřímé provozní náklady..... | 62 |
| 5.2.14 | Rentabilita (ziskovost) | 64 |
| 5.3 | Zplyňování dřevní štěrky s párou | 66 |
| 5.3.1 | PFD schéma | 66 |
| 5.3.2 | Vstupní surovina | 66 |
| 5.3.3 | Výstupní produkty | 66 |
| 5.3.4 | Popis zpracování dřevní štěrky při výrobě produktového plynu | 66 |
| 5.3.5 | Hmotnostní bilance | 67 |
| 5.3.6 | Energetická bilance | 69 |
| 5.3.7 | Určení cen zařízení | 70 |
| 5.3.8 | Stavba..... | 76 |
| 5.3.9 | Celkové fixní kapitálové investice..... | 76 |
| 5.3.10 | Splacení úvěru..... | 77 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.3.11 | Roční prodejní cena plynu | 77 |
| 5.3.12 | Přímé provozní náklady | 78 |
| 5.3.13 | Nepřímé provozní náklady..... | 80 |
| 5.3.14 | Rentabilita (ziskovost) | 82 |
| 5.4 | Porovnání zplyňování s mediem vzduch vs. pára | 84 |
| 5.4.1 | PFD | 84 |
| 5.4.2 | Vstupní suroviny a výstupní produkty..... | 84 |
| 5.4.3 | Energetické porovnání | 85 |
| 5.4.4 | Fixní náklady | 85 |
| 5.4.5 | Splácení úvěru..... | 87 |
| 5.4.6 | Roční prodejní cena produktového plynu | 87 |
| 5.4.7 | Přímé a nepřímé provozní náklady | 88 |
| 5.4.8 | Doba návratnosti a rentabilita | 90 |
| 6 | Vysvětlení pro soubory MS Excel | 92 |
| 7 | Úvaha | 93 |
| 7.1 | Citlivostní analýza..... | 96 |
| 7.1.1 | Cena biomasy..... | 96 |
| 7.1.2 | Cena elektrické energie..... | 97 |
| 7.1.3 | Prodejní cena produktového plynu | 98 |
| 7.1.4 | Stavba..... | 99 |
| 8 | Závěr | 101 |
| | Použité zdroje | 103 |
| | Seznam příloh..... | 108 |

1 Úvod

Zplyňování je již používané od 19. století průmyslově, a to jak zplyňování uhlí na koksárenský plyn, generátorový plyn, vodní plyn, vysokopecní plyn a svítiplyn, tak zplyňování biomasy na plyn pro další využití. Zplyňování neboli zisk spalitelných plynů z různých pevných paliv, je oxidační přeměna na produkty s velmi vysokou výhřevností, které se dále spaluje, například pro zisk elektrické energie. [1, 2, 3, 4]

Zplyňování uhlí probíhá převážně ve speciálních generátorech, kde nejdůležitějším produktem byl svítiplyn. Svítiplyn byl využíván k vytápění a osvětlování až do poloviny 20. století, téměř ve všech vyspělých státech po celém světě. Na úplném počátku zplyňování, je první zmínka z roku 1792. William Murdoch inženýr ze Skotska jako první využil suchou destilaci uhlí pro zisk plynu, kterým dokázal osvětlit svůj celý dům. Dále postavil plynárnu a využíval plyn k osvětlení továren. První takovou továrnou byla Wattova slévárna. Vůbec první komerční společností na zplyňování se stala společnost London Gas, Light and Coke Copany v roce 1812, pro porovnání v Praze první plynárna vznikla až v roce 1847 v Karlíně. Jelikož v té době nebyly velké zkušenosti, stávalo se, že občas došlo k výbuchu a lidé z těchto lamp na svítiplyn měli respekt a nebyly zpočátku vřele přivítány. Po čase jej lidé začali používat jen pro svícení v domácnosti a vaření, vlivem vysoké ceny, i přes velký potenciál využití. Zplyňování uhlí probíhá ale i dnes, a to v tepelných elektrárnách pod názvem IGCC neboli Integrated Gasification Combined Cycle v překladu integrovaný zplyňovací kombinovaný cyklus. V těchto elektrárnách se uhlí přemění na směs oxidu uhelnatého s vodíkem a následně dojde ke spálení. Tento proces je ekologičtější než u běžných elektráren, jelikož vznikající plyn, je očištěn od nežádoucích látek a příměsí. Zároveň snižování emisí je v poslední době hit, navíc čím dál tím víc směrnici nařizuje omezování emisí. Navíc, zplyňováním je možné získat více chemické energie, která se ukrývá v uhlí. [1, 2, 3, 4, 5]

Zplyňování biomasy se v posledních letech dělí na dva základní procesy, zplyňování v generátorech s pevným ložem a zplyňování ve fluidních generátorech. Zplyňování v generátorech s pevným ložem je jednodušší proces, s nižší investiční náročností, ale zisk je jen pro malé tepelné výkony. Proces probíhá při teplotách okolo 500 °C při atmosférickém tlaku. Vzduch proudí v souproudém nebo protiproudém generátoru, podle zvolené metody zplyňování biomasy. Při zplyňování biomasy vzniká odpad ve formě popelovin, které jsou odváděny ze spodní části reaktoru, zároveň vzniká

velké množství dehtu, fenolů a dalších nechtěných látek. Odstranění těchto látek je jak finančně nákladné, tak zatěžuje životní prostředí. Zplyňování ve fluidních generátorech je poměrně složitější proces, už jen tím, že probíhá při teplotách okolo 850 až 950 °C. Musí se dodávat větší teplo, což je i ekonomicky nákladnější, navíc proces probíhá ve dvou směrech souběžně. Prvním směrem je zplyňování při atmosférickém tlaku a druhým zplyňování v tlakových generátorech při tlaku okolo 1,5 až 2,5 MPa. Zplyňování biomasy vychází ze zplyňování uhlí, kde se vědcům podařilo, po zkoumání více než desítek let a hledání lepší a ekologičtější metody, zdokonalit proces i pro biomasu. [1, 2, 3]

Definice základních pojmů

Zplyňování je proces, který lze popsat, jako tepelný rozklad biomasy v redukční atmosféře páry nebo vzduchu (nebo obojího) za vzniku plynu střední nebo nízké výhřevnosti, který lze následně přeměnit na jiné formy paliva, chemikálie, vodík a další produkty. Zplyňování probíhá při působení zplyňovacího média, což je kyslík, vzduch, vodní páry a oxid uhličitý a potřebného reakčního tepla. [2, 3, 23]

Biomasa je definována jako veškerá hmota organického původu, tedy můžeme pod touto definicí hledat veškerou živočišnou přírodu. Ale aby definice byla více přesnější, biomasa je například, pro rostlinou biomasu, dřevní dopad, především přímo dřevo, zemědělské produkty a rostliny které jsou pěstované především pro energetické využití. [2, 3, 6]

1.1 Cíl diplomové práce

V dnešní době se hodně mluví, že biomasa by měla být budoucností pro energetiku. Zároveň zplyňování biomasy vychází, jako jeden z nejvýhodnějších ekologických procesů pro získání energie nebo jiných produktů. Je hodně lidí, kteří se chtějí vrhnout do stavby zplyňovacích jednotek a jejich procesů, ale často vycházejí jen ze studií a jsou zahleděni jen na hlavní proud zplyňování biomasy. Z toho důvodu vzniklo rozhodnutí napsat DP na téma zplyňování biomasy a zaměřit se pouze na hlavní proud zplyňování a zjistit rentabilitu (ziskovost) tohoto procesu, zda se vyplatí či nikoliv.

Aby bylo možné rozhodnout, musí se nejprve vytvořit:

- PFD schéma
- hmotností a energetickou bilanci

- ekonomické zhodnocení včetně citlivostní analýzy

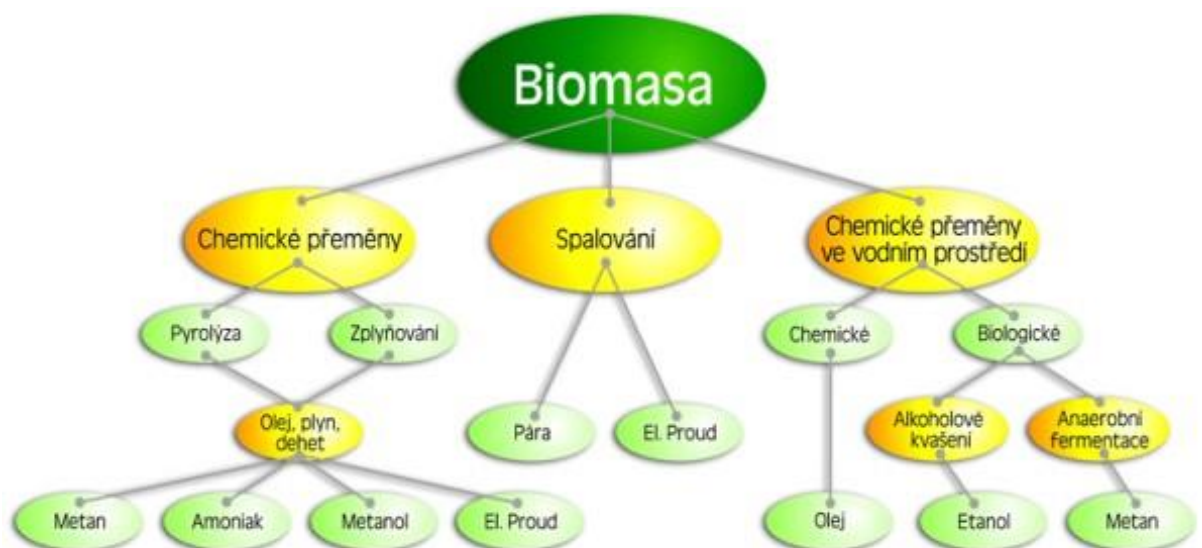
Po zhotovení všech těchto úkolů, bych mělo být možné rozhodnout, zda je tento proces zplyňování ziskový nebo ne. Na závěr, je provedena úvaha, kde se musí zohlednit faktory, které nebyly zahrnuty do studie, jelikož se jedná pouze o hlavní proud bez předúprav a následné úpravy produktového plynu či jeho přeměny.

2 Biomasa

Biomasa v podmínkách mírného pásu je jednou z nejperspektivnějších obnovitelných zdrojů s velkým potenciálem k energetickému využití. Zároveň, lidstvo produkuje čím dál tím více odpadu, sice stále převážně směsného, ale poslední dobou je odpad více tříděn a začíná se dost dbát i na třídění biomasy. Například v asijských zemích, je obrovské množství odpadu biomasy, jako jsou zbylé části po pěstování rýže, bambusů, palem atd. Tento odpad se hromadí a trvá dlouho (v řádu desítek let), než se v přírodě rozloží. Přesto pro zplyňování je vhodný. Tedy biomasa, nejen že je vhodná pro zplyňování, ale dokáže se tím vyřešit i problém s likvidací biomasy. Pokud se berou v potaz krajiny, kde pěstování plodin je velice náročné, ať už přístupem nebo pro zemědělce ekonomicky, tak zde se dá pěstovat biomasa pro energetické účely. Tím zároveň napomáháme k obnově přírody, tvorbě většího množství kyslíku a možnosti zemědělců, jak si dobře vést z pohledu ekonomického hlediska. V potaz přichází i krajiny, či menší části půdy, v okolí s více kontaminovanou přírodou vlivem oxidu uhličitého a dalších emisí, jako jsou oblasti uhelných dolů, dálnic, průmyslových oblastí atd. Rostliny tyto emise a další škodlivé plyny pohltí a pro zplyňování jsou více vhodné. Zároveň, se ty to plyny nedostávají lidem do plodin, které se pěstují ke stravě. Další výhodou biomasy, pro země středního pásu je, snížení závislosti na dovozu paliv pro energetické využití. Díky tomu, může nastat decentralizace pro výrobu energie. Tady, je otázkou, zda se jedná o správný či špatný krok. Centralizace pro výrobu energie, má výhodu, že je jen v daných oblastech. Přestože elektrárny mají velké množství nařízení a regulí, ohledně vypouštění daného množství emisí do přírody, lidé nemusí bydlet hned vedle těchto elektráren a mají pod kontrolou, kde se která elektrárna nachází. Pokud nastane decentralizace, s velkou pravděpodobností, se výroba energie rozšíří po celém území, kromě chráněných částí. Což pro lidi, nemusí být příjemný faktor. Biomasa je vhodná i pro jiné pásy než jen pro mírný pás, ale pro ostatní pásy, biomasa nemusí být tak výhodná z pohledu množství biomasy a ekonomického hlediska. Pokud se půjde severně od mírného pásu, tedy například sever Švédska, Norska, Ruska a Kanady, je zde stále velké množství potenciální biomasy, ale pro zhoršený terén dopravy může být problém ekonomický dovoz. Pokud se naopak půjde jižněji od mírného pásu, jako je například Mexiko, severní země Afriky, blízký východ, tak zde je větší problém s dostatkem biomasy. Přestože tyto země, mají biomasu, není v tak velkém měřítku, aby se těmto zemím vyplatilo zplyňování biomasy nebo dovoz. Navíc ne všechny tyto země,

jsou natolik vyspělé nebo ekologicky zaměřené, což by mohl být další problém, pro vznik řízeného odpadu biomasy a dalšího zpracování, jako je zplyňování. [1, 2, 6]

Pokud se biomasa rozdělí podle možné energetické přeměny, tak se jedná o dvě hlavní skupiny. První skupinou je biomasa vhodná pro zplyňování a spalování. Zde patří převážně odpady dřevařského průmyslu (hoblíny, piliny, odštěpky, zbylé větve atd.), také odpady z lesního hospodářství (staré spadané dřevo, kůra, roští) i když zde se řeší otázky, zda není lepší, aby tento materiál zůstal v lese tlít a podpořil ekologický růst lesů. Dále zemědělský odpad (seno, sláma, klasy, zrno atd.) a speciálně pěstované rostliny a dřeviny pro energetické využití. Tento druh biomasy lze velice snadno využít a to tak, že se spálí v kotlích pro výrobu tepla, horké vody nebo popřípadě páru. Dokonalejší a lepší volbou je zplyňování, kde se nám biomasa přemění na kvalitnější palivo ve formě plynu či kapaliny. Tyto produkty jsou využity v energetických zařízeních pro výrobu tepla a elektřiny. Druhou skupinou je biomasa vhodná pro anaerobní fermentaci neboli kvašení bez přísunu kyslíku. Zde patří komunální a průmyslové odpadní vody, které se zpracovávají v čistírnách odpadních vod, dále komunální a průmyslový tuhý odpad, ten se může získat na skládkách odpadu. A posledním bodem, co zde patří je specializovaně pěstovaná tráva, kravský hnůj, exkrementy z velkochovů a další odpady z jatek a potravinářského průmyslu. Z těchto odpadů lze pomocí fermentace získat bioplyn, který lze využít v širokém měřítku jako zemní plyn. [1, 2, 6]



Obrázek 1 - Schéma přeměny biomasy [8]

Existuje ještě jedno dělení biomasy, v daných oborech více využívané, a to dělené podle obsahu vody:

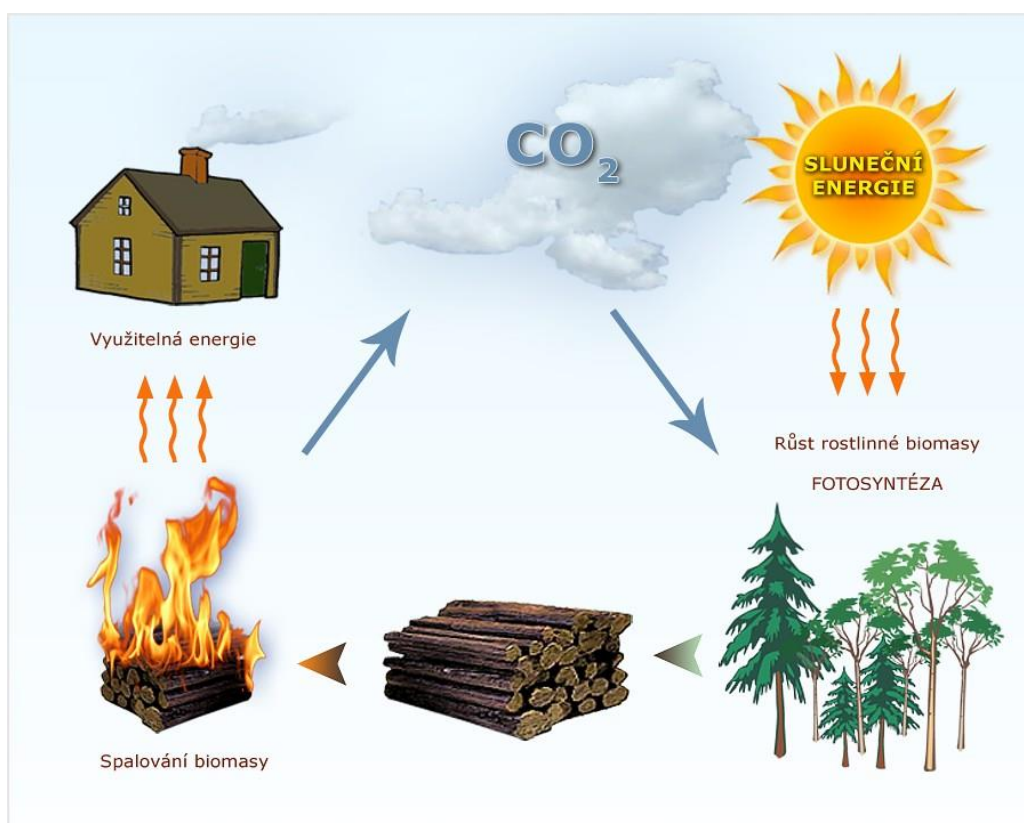
Suchá: převážně dřevo a dřevní odpady, také sláma, suché zbytky ze zemědělských plodin. Suchou biomasu lze spalovat přímo, někdy se používá dosušení pro lepší efektivitu.

Mokrá: převážně tekuté odpady, tekuté komunální odpady, odpady ze živočišné výroby a potravinářský odpad. Mokrá biomasa se nedá spalovat přímo, ale využití nalezne v bioplynových technologiích.

Speciální biomasa: olejniny, škrobové a cukernaté plodiny. Speciální biomasa se využívá ve speciálních technologiích pro získání bionafty a lihu. Jedná se o produkty s chemickými, mechanickými i fyzikálními vlastnostmi velmi podobnými látkám chemicky vytvořeným, ale přesto nejsou tak kvalitní jako tradiční nafta či líh.

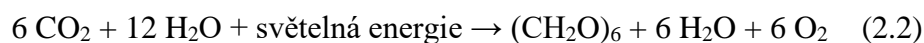
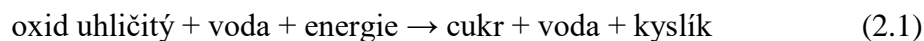
V poslední době je rozmach bioplynových stanic, které k výrobě elektrické energie využívají více forem biomasy. Pro porovnání, z jedné tuny odpadu biomasy, lze získat přibližně 340 kWh, za to z jedné tuny močůvky jen okolo 60 kWh a z trávy okolo 320 kWh elektrické energie. Takže biomasa má nejlepší využití, ale to není jediný důležitý faktor. Pouze rostlinná biomasa produkuje kyslík, který je nezbytný pro život na Zemi. Dalším pozitivem biomasy je uhlík, který získávají rostliny fotosyntézou. Bez fotosyntézy bychom se neobešly, je to základní proces na Zemi, který neustále probíhá. Jedná se o propojení vody, slunečního záření a oxidu uhličitého při vzniku dalších složitých organických látek a reakcí. Biomasa v sobě uchovává uhlík, získaný fotosyntézou, jak během svého růstu, tak po vytěžení, ten při spalování se dostává zpátky do atmosféry, kde pomocí sluneční energie a deště se dostává zpátky na zem, s přispěním fotosyntézy do rostlin a jiných plodin. Tím vzniká neustálý cyklus, tedy biomasa je vážně obnovitelný zdroj s velmi dobrým vlivem na životní prostředí. Rychle rostoucí dřeviny se začínají čím dál tím více pěstovat pro energetické účely. Rychle rostoucí dřeviny mají výhodu, nejen že rychleji rostou než normální stromy v přírodě bez lidského zákroku, ale hlavně se dají pěstovat na malých plochách, blízko sebe neboli na tzv. plantážích. Tím se šetří plocha půdy pro další využití. Nejlepší prostředí pro plantáže rychle rostoucích dřevin jsou jihoafrické země, jihoamerické země ale i Austrálie. Také i Asijské státy a Indonésie pro eukalypty, akácie, subtropická borovice a topoly. Doba obmytí neboli teoretická doba obnovy výsadby, je od 7 do 15 let, podle konkrétního místa, prostředí a dané plodiny. Výtěžnost těchto rychle rostoucích plodin je 15 až 40 m³/ha⁻¹/rok⁻¹. V těchto oblastech se tyto rostliny nepěstují především pro energetické účely, ale pro

dřeviny samotné, pro stavbu domů, nábytek, izolaci, překližky atd. Ale dřevní dopad je obrovský a zde je množství biomasy velkým nadbytkem. Převážně v Číně jsou si tímto faktem vědomi a přejímají myšlenku spalování a zplyňování odpadu biomasy za dobrý způsob likvidace biomasy ale i ekonomického zisku. Dále si uvědomují, že pokud se část biomasy vrací do přírody. Pěstování nové biomasy je snazší a účelnější, jelikož se do půdy vrací uhlík, voda, minerály a živiny. Vstřebání živin a minerálů do půdy se dá urychlit rozemletím nebo rozdrcením biomasy, než se použije při vrácení do půdy. [6, 7, 8]



Obrázek 2 - Schéma uhlíkového cyklu při spalování biomasy [7]

Zjednodušeně se dá říct, že chemická reakce fotosyntézy pro potřebnou biomasu lze zapsat jako: [12]



2.1 Potenciál biomasy

Projekt Forbiom má za úkol pomáhat s rozvojem trhu biomasy a spolupracuje s programem SAVE Evropské unie. Chuť po biomase je čím dál tím větší, ať už na centrální

zásobování tepla, tak samotné zpracování biomasy. V současnosti obnovitelné zdroje v ČR se pohybují v rozmezí 27 až 32 %, avšak na biomasu spadá jen 7-9 %. Velké množství primárních zdrojů si stále drží neobnovitelné zdroje, jako uhlí, ropa atd. Starší model z roku 2000 potenciálu využití biomasy je odhadnut pouze na 20 PJ, při předpokladu, že bude 30 % zemědělské půdy pro pěstování biomasy na energetické účely, nebude terén příliš hornatý, bude dostatek srážek a ochota podpory od vlád. V novém odhadu pro roky 2012-2020 z celkové výměry 1120 tisíc ha zemědělské půdy, vláda očekává energetický potenciál 161,4 PJ za rok. Kde 40 % činí biomasa z orných půd. [9, 10]

| Původ biomasy výměra | Výměra | Hodnota energetického potenciálu | Střední hodnota | |
|--------------------------------------|--------------|-------------------------------------|-----------------|------------|
| | tis.[ha] | [PJ/rok] | [PJ/rok] | [%] |
| Orná půda pro energetické využití | 680 | 53,1 – 76,2 | 64,6 | 40 |
| Trvalé travní porosty | 440 | 22,8 – 29,8 | 26,1 | 16 |
| Vedlejší produkty | -* | 57,5 – 80,8 | 70,7 | 44 |
| Celkem | 1 120 | 133,9 – 186,8 | 161,4 | 100 |

*vedlejší produkty představují výpalky, pokrutiny, plevy, exkrementy hospodářských zvířat bez půdní náročnosti
Zdroj: Expertní tým APB, MZe, 2011

Tabulka 1 - Souhrn energetického potenciálu ze zemědělské půdy [9]

Další nedílnou součástí potenciálu biomasy jsou lesní těžební zbytky, které v současné době ukazují na množství 813 tisíc m³/rok. Pokud se však povede omezení pro ochranu ekosystému na 504 tisíc m³/rok, je možné docílit k 4,8 PJ/rok energie, což není zanedbatelné číslo. Dále dřevní odpad vzniká v průmyslu, například na pile při rozřezávání kmenů, hoblováním, frézování, vrtání atd. Jelikož odhady mluví o ztrátě až 50 % z vytěženého dřeva, je možné odpadní biomasu z těchto procesů přeměnit na potenciál o energii 21,8 PJ. [9, 10]

Komunální odpad při biologickém rozložení, pokud se dobře zanalyzuje, zjistí se, že i zde je potenciál pro bioplynové stanice s obsahem biomasy. Biomasa se může v komunálním odpadu najít, ze zahrad, parků ale i z domácností. Směrnice EU nařizují, snižování množství komunálního odpadu, který bude skládkován do země. Díky správnému vytrídění biomasy z komunálního odpadu se může, jak využít biomasu pro energetické účely, tak se přiblížit k hodnotám směrnic. Podle tabulky 2, je vidět že suma biomasy z komunálního odpadu činí necelých 600 000 t/rok, pro rok 2020. Směrnice

udává, že v roce 2020 je zapotřebí snížit komunální odpad pro skladování do země o 2850kt. Tedy je možné z komunálního odpadu využít 22 %, což činí biomasa. Je však otázkou, zda roztrídění komunálního odpadu, nebude náročnější na ekologii a nákladnější pro stát a kraje než samotné uložení do země. Tak či tak potenciál 22 % je takové množství, které stojí za uváženou. Pro ještě větší přehled, jedná se o měrnou úsporu primární energie 0,7-1,2 % z primárních zdrojů. [9, 10]

| | Katalogové číslo | 2009 | 2010 | 2013 | 2020 |
|--------------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Oddělený sběr | 20 01 | 527 316 | 515 206 | 568 503 | 663 516 |
| Odpady ze zahrad a parků | 20 02 | 373 456 | 364 879 | 454 738 | 578 260 |
| Ostatní komunální odpady | 20 03 | 3 893 894 | 3 720 340 | 4 145 916 | 4 791 298 |
| Směs komunálních odpad | 20 03 01 | 3 236 264 | 3 090 806 | 3 451 259 | 3 986 496 |
| Objemný odpad | 20 03 07 | 506 482 | 486 444 | 540 124 | 623 889 |
| Ostatní složky | 20 03 XX | 151 148 | 143 090 | 154 533 | 180 913 |
| KO celkem | 20 | 4 794 665 | 4 684 55 | 5 169 157 | 6 033 074 |

Zdroj: Pavlas M., Mareš M., Ucekaj V., Oral J., Stehlík P.: *Optimální nastavení výše podpory výroby elektřiny z odpadu ve vztahu k ceně elektřiny pro spotřebitele*, VUT Brno, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2011

Tabulka 2 - Predikce vývoje produkce komunálního odpadu v čase [9]

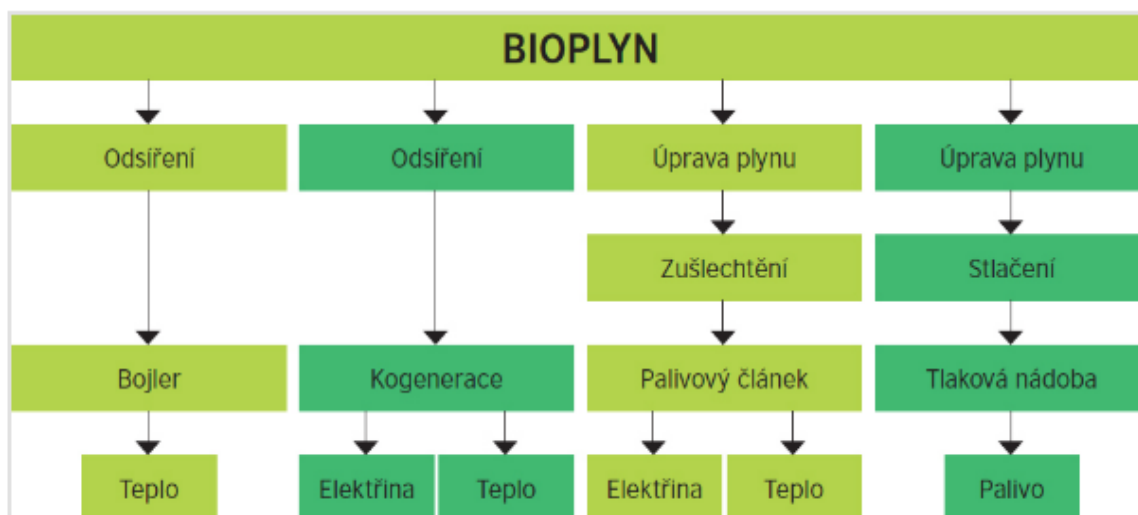
Pokud se shrne veškerý potenciál biomasy v České republice, dostává se na 214,7 PJ/rok energie. Z toho činí 75 % zemědělská biomasa, 13 % lesní dendromasa (biomasa dřevnatého původu), 12% biomasa v komunálním odpadu. Pro porovnání v roce 2010 bylo reálné využití v České republice 94 PJ/rok energie. Pro porovnání se sousedy ze Slovenské republiky, zde v roce 2010 využili jen 17 % z potenciálu 95 TJ/rok energie, to je způsobeno tím, že ve Slovenské republice, je značná část chráněná a hornatá natolik, že se vůbec nevyplatí uvažovat o využití biomasy z těchto oblastí. [9, 10, 11]

Výše zmíněné jsou pouze čísla, dokonalý projekt neexistuje. V různých oblastech České republiky, máme jiné podmínky pro pěstování. Cena biomasy a tepla se tedy mohou lišit až trojnásobně. Co se týče poměru ceny mezi jednotlivými kraji pro celý projekt od vystavení linky na třídění biomasy, po spalování nebo zplyňování biomasy, platy zaměstnanců, až po samotné pěstování a sběr, cena může být až desetkrát rozdílnější. Proto je velice důležité, aby vlády podporovaly biomasu ve správných lokalitách, alespoň pro začátek než se díky směrnici EU o ochraně přírody, stane ze spalování a zplyňování biomasy hlavní směr. [9,10]

2.2 Další biopaliva

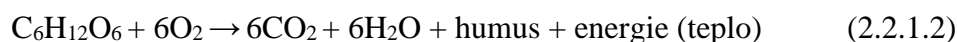
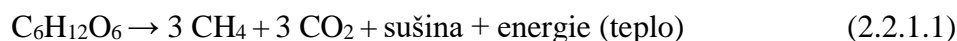
2.2.1 Bioplyn

Bioplyn se získává produkcí tuhých i tekutých látek a substrátů z potravinářského průmyslu, jde o tuky, bílkoviny a polysacharidy. Přitom 65 % činí voda, ale bioplyn se získává jen ze sušiny. Pomocí fermentace v bioplynových stanicích se zpracuje do podoby, kdy je možné skladování a následné využití při spalování pro vytápění, nebo jako příměs do paliv pro plyné motory, k tomu uzpůsobené. Avšak toto palivo se musí nejprve zušlechtit, tedy odstranit CO₂, pak zle získat bioplyn, který je srovnatelný se zemním plynem. Bioplyn je nositelem metanu, oxidu uhličitého, které lze procesy přeměnit na energii. U soběstačné stanice se vyprodukovaná energie ze 7 % využije na výrobu elektrické energie a okolo 30 % pro vytápění. Co se týče účinnosti v kogenerační jednotce, pohybuje se mezi 38 až 45 % záleží, zda se produkuje teplo, nebo elektrickou energií. Pro určení potenciálu se uvádí jednotka VDJ (velká dobytčí jednotka). Dnes je odhad 3,3 MVDJ tedy přibližně 3 960 000 m³ za den, při výhřevnosti 22 MJ/m³, potenciál bioplynu je 32 000 TJ. Neveškerý potenciál lze využít, na druhou stranu, je zde ještě faktor, farmářských zbytků, biomasy atd. Reálný potenciál bioplynu v České republice se odhaduje na 7 000 TJ energie pro palivo. [13, 14, 15]



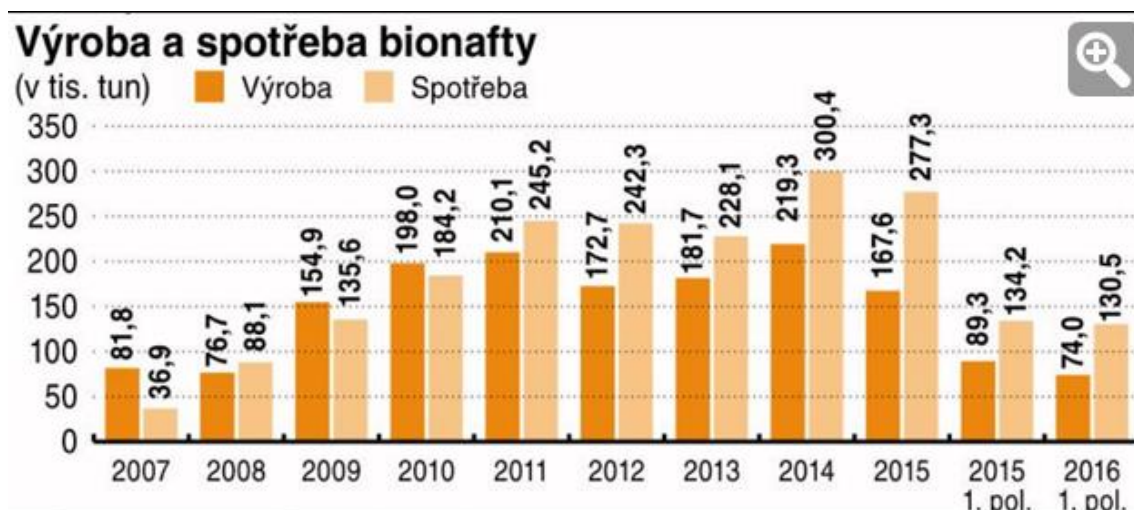
Obrázek 3 - Přeměna bioplynu na konečné produkty [15]

Reakce anaerobní fermentace a rozklad organické látky [16]



2.2.2 Bionafta

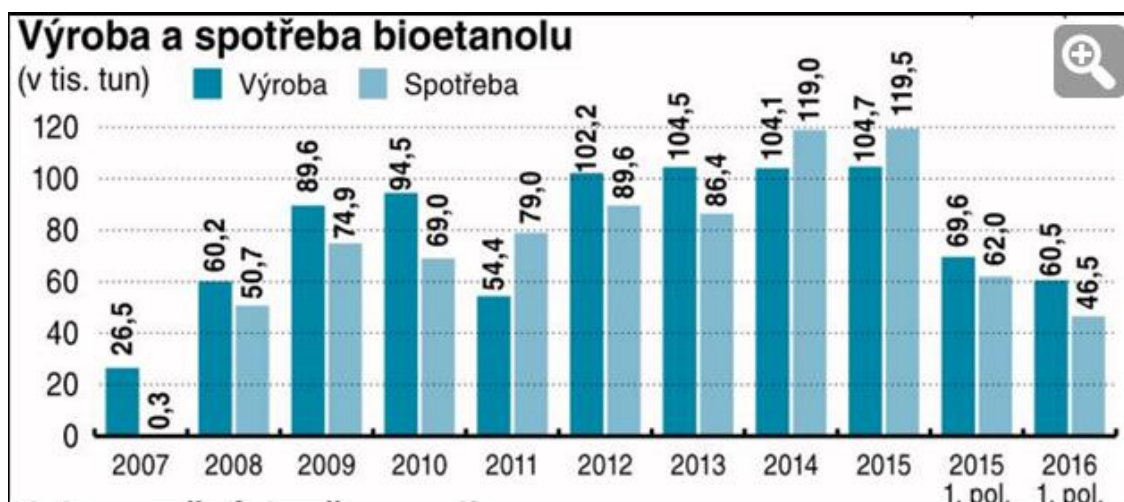
Nejčastější výroba bionafty je z živočišných tuků (odstředěný tuk z mléka, tuky z kafilérie atd.) a olejnatých rostlin (řepka olejná, palmový tuk atd.) ale i kuchyňské tuky (ze smažení, fritování, převážně získané z velkých řetězců). Tyto odpadní produkty se lisují pro získání tuků, které jsou dále čištěny a přefiltrovány. Při vysoké teplotě a příměsí katalyzátorů vzniká takzvaná bionafta první generace neboli metylester. Tento postup je značně finančně náročný, proto se používá jen jako příměs do ropných produktů, kde musí být obsažena alespoň ze 30 %, tím se získá bionafta takzvané druhé generace. Z důvodu, že se bionafta a nafta od sebe liší svými vlastnostmi, musí být naftové motory upraveny pro její používání. Další nevýhodou je vyšší spotřeba, nižší výkon, větší agresivita na prvky (převážně pryž). Výhodou je lepší mazací schopnost a ekologičnost. Potenciál v bionaftě při výhřevnosti methylesteru 38 GJ/t a roční produkci v České republice okolo 250 000 tun, dosahuje potenciál bionafty k 9250 TJ. Což v porovnání s bioplynem je víc jak 2000 TJ. Podpora vlád bionafty je značná, i přes kritiku odborníků na zemědělství, ale i konstruktérů motorů a dalších spalovacích jednotek. Pokud bionafta bude mít dále podporu vlád České republiky a hlavně EU, potenciál bionafty může razantně růst. Avšak v posledních dvou letech zájem o bionaftu upadá. Otázkou je, zda z ekonomického, a hlavně ekologického hlediska, je bionafta výhra, když má menší výkon a vyšší spotřebu a bude docházet k častějším opravám a výměnám spalovacích jednotek. [3, 12, 17, 18]



Graf 1 - Výroba a spotřeba bionafty v České republice od roku 2007 do poloviny roku 2016 [19]

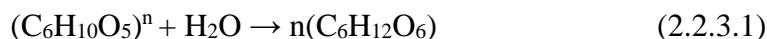
2.2.3 Bioetanol

Pomocí biologické fermentace cukrů se získává bioetanol, kde hlavní surovinou je fytohmota (objem rostlinné hmoty za působení fotosyntézy), jako je například cukrová řepa, brambory kukuřice atd. Následnou destilací se oddělí etanol, který je třeba ještě rafinovat a dehydratovat. Odpadním produktem jsou výpalky, které jsou vhodné jako hnojivo. Bioetanol se dá použít i jako samostatné palivo, ale je převážně používáno ve směsi, kde ve směsi zaujímá okolo 85 %. Výhodou je vysoké oktanové číslo, ale stejně jako bionafta má více nevýhod. Hlavní nevýhodou je vysoká agresivita na kovové prvky pohonných jednotek, což po čase snižuje výkon. Potenciál u bioetanolu je velice složitý změřit, vypočítat ale i odhadnout. Přesto předpoklad je téměř shodný s bionaftou okolo 9 000 TJ. Stejně jako u bionafty, o bioetanol byl velký zájem a měl velkou podporu EU i vlád České republiky, ale v posledních dvou letech také můžeme vidět pokles zájmu. Zřejmě ze stejného důvodu, ekonomicky se nevyplácí a z ekologického hlediska se nejedná o žádný velký převrat. [3, 12, 17, 18]



Graf 2 - Výroba a spotřeba bioetanolu v České republice od roku 2007 do poloviny roku 2016 [19]

Při výrobě bioetanolu jsou základní dvě rovnice, hydrolizace škrobné látky na glukózu [19]



A alkoholové kvašení glukózy na etanol [19]



| Sektor | Zdroj | Typ zdroje | Obsah vody (% hm.) | Obsah popele (% sušiny) | Technologie pro přeměnu |
|----------------------------------|---|---|--------------------|---------------------------------|--|
| Zemědělství | Zbytky a odpady z rostlinné výroby | Suchá lignocelulózová biomasa (sláma, zbytky po lisování olejí, odpadní zrno, ekonomicky neprodejné produkty apod.) | 10 - 50 | 2 - 20 | Spalování, zplyňování, pyrolýza |
| | Odpady ze živočišné výroby | Mokrā celulózává biomasa (hnoj, kejda, podestýlka, apod.) Suchā lignocelulózává biomasa (dřibeží trus, zbytky krmiv apod.) | 70 - 95 75 | 25 - 35 17 - 30 | Anaerobní digesce Spalování, zplyňování, pyrolýza |
| Energetické plodiny | Energetické plodiny | Plody/semena olejnin (řepka, slunečnice, len apod.) | - | < 0,02 | Lisování + výroba metylesteru |
| | | Cukernaté a škrobnaté plodiny (cukrová řepa, obilniny, brambory apod.) | - | < 0,02 | Fermentace (výroba bioetanolu) |
| | Energetické byliny a dřeviny | Suchā lignocelulózává biomasa (topol, olše, akát, šťovík, konopi, komonice bílá, amarantus apod.) | 12,5 - 50 | 0,2 - 8 | Spalování, zplyňování, pyrolýza |
| | | Mokrā celulózává biomasa (trāva z údržby trvale zatrávnených ploch apod.) | 75 - 80 | 7-10 | Anaerobní digesce |
| Odpadní dřevní hmota | Suchā lignocelulózává biomasa (zbytky po likvidaci křovin a náletů, odpady ze sadů a vlnic) | 25 - 50 | 1 - 10 | Spalování, zplyňování, pyrolýza | |
| | Suchā lignocelulózává biomasa | 25 - 50 | 0,4 - 5 | Spalování, zplyňování, pyrolýza | |
| Lesnictví | Palivové dřevo | Suchā lignocelulózává biomasa (větvě, kůra, pařezy, probírkové dřevo, manipulační odřezky apod.) | 25 - 50 | 0,4 - 5 | Spalování, zplyňování, pyrolýza |
| | Zbytky a odpady z lesnictví | Suchā lignocelulózává biomasa (zbytky z dřevařského průmyslu - piliny, hobliny, odřezky apod.) | 10 - 30 | 0,2 - 20 | Spalování, zplyňování, pyrolýza |
| Průmysl | Zbytky a odpady z průmyslu | Mokrā celulózává biomasa (organický odpad z potravinářství - jatka, mlékárny, lihovary, pivovary apod.) | 70 - 95 | 3 - 6 | Anaerobní digesce |
| | | Sulfátové výluhy (odpad z papírenství) | 90 | 35-40 | Spalování |
| Odpadové hospodářství | Tuhý komunální odpad | Dřevo z demolic a sběrných dvorů | 10 - 40 | 0,5 - 3 | Spalování, zplyňování |
| | | Směsný komunální odpad | 20 - 30 | 20 - 50 | Spalování, zplyňování |
| | | Odpad na skládkách | 20 - 30 | 20 - 50 | Anaerobní digesce (na skládce) |
| | | Separovaný BRKO | 30 - 50 | 5 - 30 | Anaerobní digesce |
| Údržba veřejné a soukromé zeleně | Čištění odpadních vod | Čistírenský kal (komunální a průmyslové ČOV) | 70 - 95 | 20 - 30 | Anaerobní digesce |
| | | Suchā lignocelulózává biomasa (dřevo z údržby parků, zahrad, ochranných pásem, břehových porostů apod.) | 25 - 50 | 1 - 10 | Spalování, zplyňování, pyrolýza |
| | | Mokrā celulózává biomasa (trāva z údržby parků, zahrad, zatrávnených ploch) | 75 - 80 | 7-10 | Anaerobní digesce |

Tabulka 3 - Přehled hlavních zdrojů biomasy v ČR [12]

Převzato z České energetické agentury moderní využití biomasy

Z předchozích stránek je očividné, že biomasa má obrovský potenciál jak z pohledu energetického, tepelného, ekologického a ekonomického hlediska, tak likvidace a snížení odpadu. Z tohoto důvodu, je tato diplomová práce zaměřena na zplyňování biomasy a v následných stránkách je popsán proces.

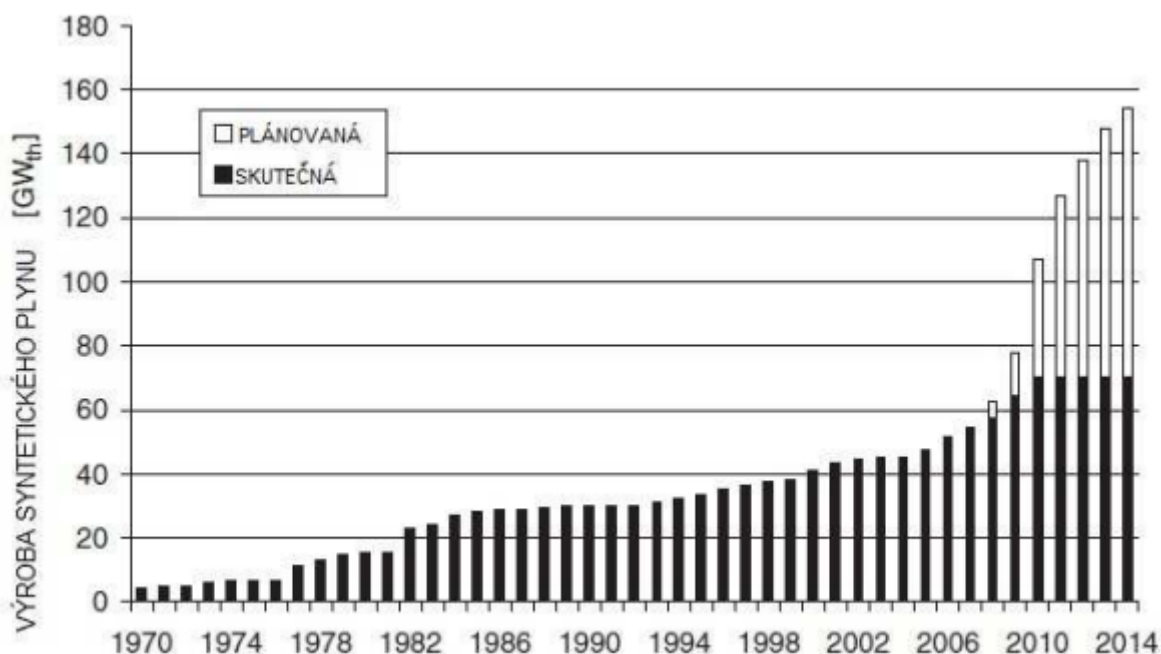
3 Zplyňování

Zplyňování lze popsat, jako tepelný rozklad biomasy v redukční atmosféře páry nebo vzduchu (nebo obojího) za vzniku plynu střední nebo nízké výhřevnosti, který lze následně přeměnit na jiné formy paliva, chemikálie, vodík a další produkty. Zplyňování probíhá při působení zplyňovacího media, což je kyslík, vzduch, vodní páry a oxid uhličitý a potřebného reakčního tepla. Časté je, že v průmyslu je mediem kombinace více nebo všech složek. Složení a kombinace media má vliv na výsledný produktový plyn. Určuje jeho vlastnosti ale i kvalitu složení. Mezi nejčastější produkty pro zplyňování jsou uhlí, biomasa a různé druhy odpadu. Procesem zplyňování se získá produktový plyn, který lze využít k dalším přeměnám jako hnojiva, kapalná a plynná paliva, tepla, elektřiny atd. Využití je velice pestré a má široké spektrum potenciálního využití. [6, 20, 23]

Největší rozmach zplyňování nastal v meziválečném období a během druhé světové války. V USA kolem roku 1920 bylo na 1200 zplyňovačů, se zpracováním až 25 milionů tun uhlí ročně. Také se využívalo zplyňování generátorového plynu, který byl získáván reakcí průmyslového koksu s vodními parami a vzduchem, našel využití v širokém spektru průmyslových aplikacích. Během druhé světové války, kdy byl nedostatek paliva (převážně ropy) v Německu pracovalo devět průmyslových zařízení, které vyráběli syntetická paliva z uhlí, které prošlo zplyňováním. Jeho produkce činila okolo 100 tisíc tun syntetického paliva za rok u každého z devíti průmyslových zařízení. Tento průmyslový krok vpřed ve zplyňování dal nacistickému Německu značnou počáteční výhodu během války. Jak už tomu bývá, největší objevy a posuny vpřed v technologii a průmyslu bývají během válek. Přestože zplyňování se zdálo být ve své době nejlepším řešením, ještě během války se zplyňování dostalo až na druhé místo ve využívání, jelikož jej nahradil zemní plyn s lepšími vlastnostmi a z hlediska ekonomiky, levnějšího získávání. [4, 12, 20]

Zplyňování uhlí, biomasy a dalších zdrojů na čtyřicet let téměř vymizeli a stáhli se do pozadí, spíše na vědecké účely a výzkumy. V letech 1970 až 1980 po velkém průzkumu množství zemního plynu, ropy a dalších neobnovitelných zdrojů vyšlo větší množství různých zpráv, že by neobnovitelné zdroje mohly velice rychle dojít, nebo by bylo tak ekonomicky náročné je těžít, že by se nemuseli dostávat k obyčejným lidem. Jak v podobě benzínu pro osobní automobily, tak ceny tepla v domácnostech by tak podražily, že by se lidé museli vracet ke kamnům na tuhá paliva jako je uhlí a dřevo.

Navíc v roce 1973 nastala ropná krize, která jen umocnila tvrzení výzkumů. Proto se začalo narychlo řešit, jak by se dal zemní plyn a ropa nahradit. Řešením se zdálo být, opětovné vrácení ke zplyňování, což názorně ukazuje následný graf celosvětového nárustu zplyňování na synteticky vyrobený plyn. [4, 12, 20]



Graf 3 - Graf celosvětového nárustu zplyňování na synteticky vyrobený plyn [4]

Největší nárůst zplyňování je v posledních 10 až 15 letech, díky směrnícím a limitům EU ve směru snižování ekologické zátěže a zlepšení procesů při zplyňování uhlí. Tedy konverze chemické energie, která se ukrývá v uhlí, na elektrickou energii, po které je stále větší poptávka. Ale také v poslední době více a více populární biomasy. Největší podíl je v oblasti energetiky. Již v roce 2003 se provedl průzkum, který udává že po celém světě již bylo 468 zplyňovacích jednotek v plném provozu, rozestavených nebo v plánování stavby. Nejčastějšími produkty těchto jednotek jsou motorové oleje, maziva a topné oleje. Novější zplyňovací jednotky jsou dnes navrhovány převážně pro produkci syntetického plynu, pro spalování v tepelných elektrárnách, jak už pro teplo, tak elektrickou energii. [4, 12, 20]

3.1 Reakce zplyňování

Zplyňování je dosti složitý proces, kde se objevuje velké množství látek a sloučenin v zanedbatelném množství a taktéž reakcí. Pro představu se dá zplyňování popsat osmi základními reakcemi, které zahrnují uhlík, oxid uhličitý a uhelnatý, vodík, metan a vodu či vodní páry. [4, 12, 20]



Reakce (3.1.1) až (3.1.3) jsou spalovací reakce, kde se jedná o exotermní reakce, tedy, že se při nich teplo uvolňuje. Toto teplo se využívá na vysušení paliva, přípravě reaktoru na další reakce a přerušení chemických vazeb. Velké množství kyslíku (vzduchu) se v těchto třech reakcích spotřebuje. [4, 12, 20]

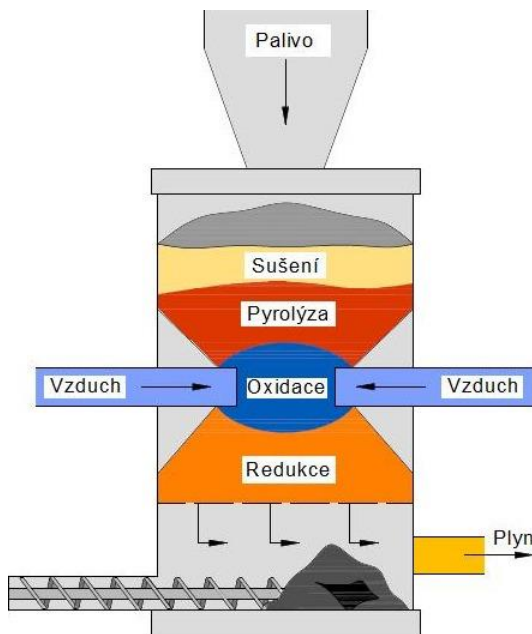
Reakce (3.1.6) až (3.1.8) jsou produkční reakce, kde se produkují plyny, které můžeme dále využít. [4, 12, 20]

Reakce (3.1.4) neboli Boudouardova reakce, je endotermní, tedy probíhá za stejných teplot jako v reakci (3.1.1) ale o dost pomaleji a bez katalyzátoru. Boudouardova reakce je významnou v produkci čistého oxidu uhelnatého. [4, 12, 20]

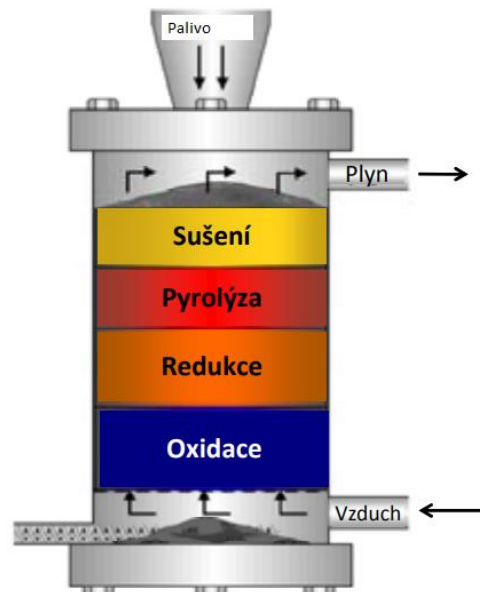
Reakce (3.1.5) neboli WGS-Water-Gas-Shift je reakcí vodního plynu. Jedná se o endotermní reakci, kde se teplo spotřebovává za vysokých teplot a velmi nízkého tlaku. [4, 12, 20]

3.2 Procesy při zplyňování

Zplyňování je součet termochemických procesů, které na sebe navzájem navazují. V každém procesu probíhá dané množství fází. V reaktoru s pevným ložem se fáze rozdělují do jednotlivých fází, dále popsáno. U fluidního reaktoru se fáze nerozdělují, všechny fáze pracují v celém reaktoru současně. [20]



Obrázek 4 - Průběh reakcí v reaktoru s pevným ložem, souprroud [20]



Obrázek 5 - Průběh reakcí v reaktoru s pevným ložem, protiproud [21]

Na obrázku 4 lze vidět proces postupujících reakcí reaktorem s pevným ložem, které na sebe navazují. Nejprve se do reaktoru nasype palivo (uhlí, biomasa, koks atd.), dále toto palivo prochází jednotlivými procesy.

3.2.1 Sušení

Vložené palivo se nejprve suší při teplotách do 200 °C, což má za následek odpařování vody z paliva. Vody nebo vodní páry přechází do redukčního pásma nebo se vyskytuje ve vyrobeném syntetickém plynu. Rozdíl je v typu reaktoru. Souprroudý reaktor vodu a vodní páry redukuje v redukčním pásmu, za tím co, v souprroudém reaktoru vodní páry odchází společně se synteticky vyrobeným plynem. Ideální vlhkost paliva se pohybuje okolo 15 %. Pokud se bavíme o biomase, která obsahuje velké množství vody, je zapotřebí k odpaření vody, velké množství tepla. Proto je daleko výhodnější, když se palivo vkládá vysušené, a ne čerstvě sklizené. Tím se může docílit, ušetření velkého množství energie, tedy i ceny na provoz. [20, 21, 22]

3.2.2 Pyrolýza

Jedná se o tepelný rozklad paliva bez přístupu kyslíku či vzduchu. Vstupní palivo ovlivňuje chemické složení plynných, tekutých a pevných produktů. Štěpení řetězců dochází při suché destilaci při teplotách od 300 do 500 °C, kde dochází k přeměně na plynné a kapalné produkty a tuhý produkt polokoks (tuhý uhlík). Následným zvýšením

teploty od 500 do 700 °C se produkty dále štěpí a pevný i kapalný produkt se transformuje na plynné látky (vodík, metan, oxid uhelný a uhlíčitý). Výsledkem jsou produkty o třech skupenstvích. [20, 21, 22]

Plynné produkty a jejich množství závisí na pyrolýze, zda je pomalá či nikoliv. Při pomalé se získá až 30 % obsahu energie biomasy, při klasické pouze 5 %. Hlavní složkou je oxid uhelnatý, který tvoří až 95 %. Výhřevnost plynu je od 3,5 do 8,9 MJ/m³. [20, 21, 22]

Kapalným produktem je pyrolýzní olej, který vzniká při pomalých procesech pyrolýzy. Jedná se o směs kyselých produktů s příměsí tuhých látek a vody, která je obsažená do 20 % podle množství odpařených par při sušení. [20, 21, 22]

Tuhý zbytek je z 80 až 85 % polokoks, zbylá část jsou prchavé látky a popel. [20, 21, 22]

3.2.3 Oxidace

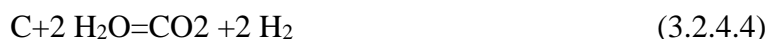
Oxidace je třetím procesem pro palivo v reaktoru s pevným ložem souproudu, kde se přivádí medium (kyslík, vzduch). Při zplyňování tohoto média, se vytváří ve vstupu media lehká oxidační vrstvička, která má teplotu od 800 do 1500 °C, proto daná část reaktoru je jednou z nejvíce namáhaných částí, musí být dobře zkonstruována a materiál zde musí odolávat velkému rozdílu teplot. Zde se jedná o exotermickou reakci, kde vznikající teplo je potřebné k endotermické reakci zplyňovacího procesu. Probíhají zde reakce (3.1.1) (3.1.2) (3.1.4) a ještě reakce oxidace oxidu uhelnatého (3.2.3.1) a oxidace metanu (3.2.3.2) [20, 21, 22]



Pro reaktor s pevným ložem protiproudu se jedná o čtvrtý proces paliva, kde je také přiváděno medium (kyslík, vzduch). Jedná se o dosti podobný proces jako u souproudeho reaktoru, s tím že zde probíhají hlavně dvě reakce a to (3.1.1.) (3.1.4.), jelikož třetím procesem je u protiproudeho reaktoru redukce, kde již proběhne větší množství reakcí. [20, 21, 22]

3.2.4 Redukce

Redukcí oxidu uhličitého na oxid uhelnatý a redukcí vodních par na vodík vznikají spalitelné látky. Dále vodík reaguje s uhlíkem a vzniká metan. Díky reakcím bez přístupu kyslíku, kde se teplota snižuje, spaluje se uhlík nebo redukuje na oxid uhelnatý, vznikají plynná paliva. Zbytek ve formě popelu opouští reaktor ve formě nedopalku. V procesu redukce pro souproudý reaktor s pevným ložem probíhají reakce (3.1.4) (3.1.5) (3.1.6) (3.1.7) (3.1.8) a dvě další rovnice, (3.2.4.1) homogenní vznik metanu, (3.2.4.2) homogenní redukce oxidu uhličitého. Pro reaktor protiproudý, je redukce již třetím procesem pro palivo vstupující do reaktoru. Princip je stejný, jen zde probíhají hlavně reakce (3.1.4) (3.1.5) a hlavně další dvě reakce, pro vznik vodíku, oxid uhelnatý a oxidu uhličitého (3.2.4.3) (3.2.4.4). [20, 21, 22]

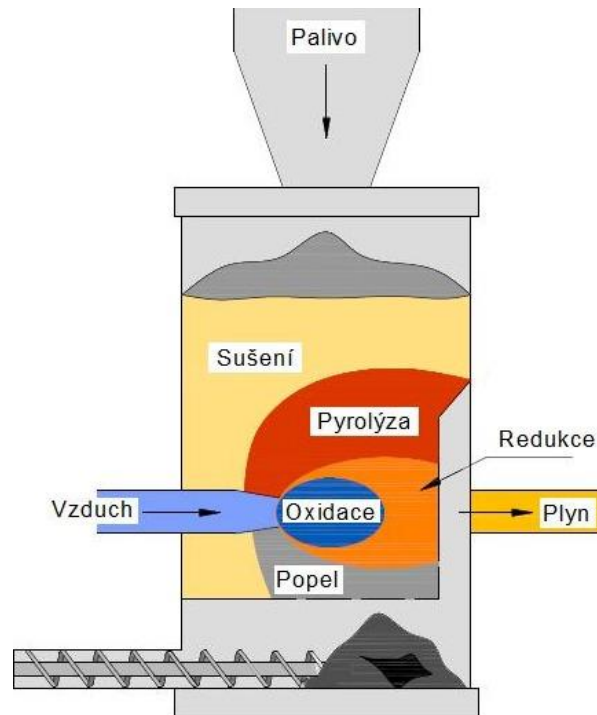


Konečný plyn, který projde celým reaktorem s pevným ložem, je složen hlavně z oxidu uhelnatého, metanu, vodíku, ale také z plynů v obsahu téměř zanedbatelné (dusík, vodní páry, oxid uhličitý). [20, 21, 22]

3.2.5 Porovnání souproudého a protiproudého reaktoru s pevným ložem

Protiproudý reaktor je nejrozšířenějším, jelikož je z pohledu techniky nejjednodušší. Medium se přivádí zespoda a vzniklý plyn proudí směrem nahoru proti směru paliva. Vzniklý plyn má výhřevnost okolo 6 MJ/mN³ a nízkou teplotu. Nevýhodou je, vyšší obsah dehtových látek a pyrolýzních produktů ve vyrobeném syntetickém plynu. Naproti tomu se v souproudém reaktoru přivádí medium uprostřed reaktoru do oxidačního procesu (v nejužším místě). Vzniklý plyn má výhřevnost o něco nižší, a to okolo 5 MJ/mN³. Rozdíl tedy není nikterak závratný, proto by se dalo říci, že výhřevnost plynu, jak ze souproudého, tak protiproudého reaktoru s pevným ložem téměř stejná. Nevýhodou je vyšší teplota vyprodukovaného plynu a větší množství prachových částic. [20, 21, 22]

Pro zajímavost, existuje ještě třetí typ reaktoru, a to reaktor s křížovým ložem, který slouží převážně pro zplyňování dřevěného uhlí, které musí být vysoce kvalitní. Nevýhodou je, že zplyňovací proces probíhá při vysokých teplotách okolo 1500 °C a reaktor proto musí být konstruován na vysoké teploty, což je ekonomicky méně výhodné. Výhodou je čistitelnost plynu, kde postačí filtr nebo pro lepší čištění cyklon. [20]



Obrázek 6 - Schéma reaktoru s křížovým ložem [20]

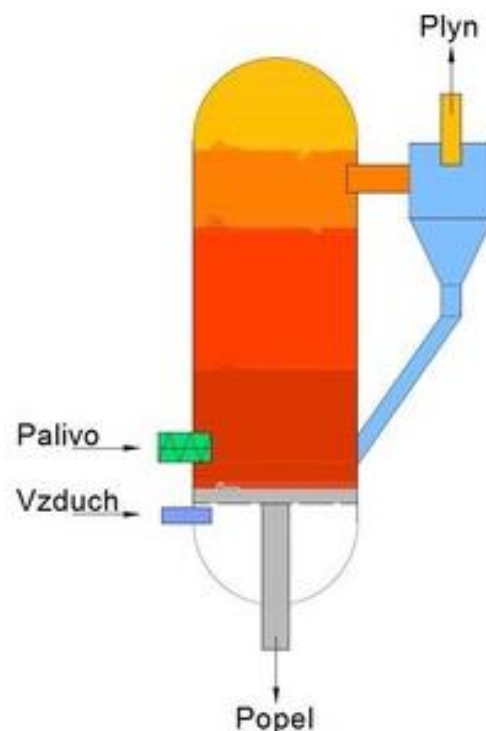
3.2.6 Generátor s fluidním ložem

Generátor s fluidním ložem byl vyvinut pro zplyňování uhlí, ale časem se přešlo na zplyňování biomasy, čímž se předešlo provozním problémům při zplyňování s pevnou vrstvou, kde hlavními problémy jsou: ucpávání vlivem malých částic, nerovnoměrné rozložení teplot a hlavním problémem je zplyňování paliv s vysokým obsahem popela. [20, 24]

V současné době jsou vhodným palivem pro zplyňování v generátoru s fluidním ložem piliny, dřevní štěpka, pelety a další dřevní odpad o menších velikostech. Vhodným inertním materiálem je písek, keramika, případně méně využívaný popel. Typickým médiem pro zplyňování tomto generátoru jsou: nejvíce používaný vzduch, pára a kyslík. Zplyňování probíhá ve vlnosku, kde je nejprve přiváděno palivo (biomasa) například šnekovým pásem na dno generátoru, kde leží společně s interním materiálem. Přívod media musí být pod tuto vrstvu inertního materiálu a paliva, aby bylo zajištěno překonání

prahové rychlosti fluidace. Jakmile prahová rychlost překoná působící tíhové síly, začne se palivo společně s inertním materiálem vřít, až dosáhne rychlosti úletu. V generátoru s fluidním ložem následují stejné procesy jako u generátorů (reaktorů) s pevným ložem, ale proces probíhá téměř okamžitě najednou. Množství spálené biomasy a množství které se zplyní záleží na jednotlivých konstrukcích a dimenzování generátoru s fluidním ložem. Nejčastěji se teplota fluidní vrstvy pohybuje okolo 850 °C, avšak rozsah se uvádí od 700 do 900 °C. [20, 24]

Největší výhodou tohoto generátoru je kompaktní konstrukce. Zároveň mezi výhody je uvažováno s rovnoměrným rozložením teplotního profilu, širší volba paliva, tím se myslí palivo výše uvedené s velkou škálou vlhkosti, obsahem popela nebo zrnitosti. Hlavní nevýhodou, je vyšší obsah tuhé fáze v produktovém plynu, který je zapotřebí následně separovat a dočistit. Dalšími nevýhodami jsou nevyhořelý uhlík v podobě nechtěné tuhé fáze a složitější provoz vlivem kontroly přesného množství paliva. [20, 24]



Obrázek 7 - Schéma reaktoru s fluidním ložem [20]

3.2.7 Porovnání generátorů

Pro přehlednost je vytvořena tabulka porovnání generátorů (reaktorů). Z porovnání v tabulce bude snazší a přehlednější výběr pro následnou volbu PFD schémata a typu zplyňovací jednotky.

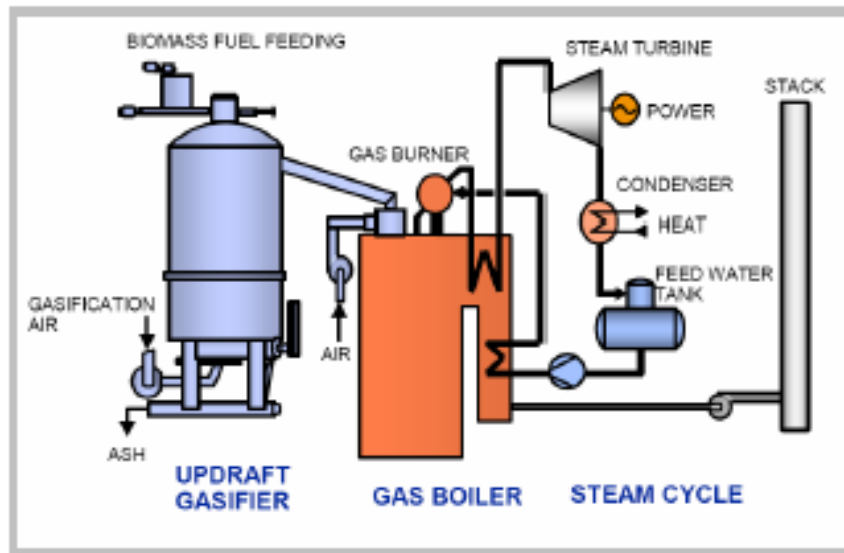
| Typ reaktoru | Výhody | Nevýhody |
|------------------------------------|--|--|
| Souproudý reaktor s pevným ložem | Jednoduché zařízení Vysoká škála vstupního paliva Vysoké využití tepla Dobrá účinnost | Nízká rychlost ohřevu Dávkový proces Obsah tuhé fáze v produktovém plynu |
| Protiproudý reaktor s pevným ložem | Jednoduché zařízení Vysoká škála vstupního paliva Vysoké využití tepla Dobrá účinnost | Nízká rychlost ohřevu Dávkový proces Obsah tuhé fáze v produktovém plynu Vyšší teplota produktového plynu |
| Křížový reaktor s pevným ložem | Jednoduchost čištění produktového plynu | Vysoká provozní teplota Vysoké nároky na palivo Malý pracovní rozsah |
| Generátor s fluidním ložem | Kompaktnost Velká škála vlastností paliva | Obsah tuhé fáze v produktovém plynu Nevyhořelý uhlík Složitější provoz |

Tabulka 4 – Porovnání reaktorů

3.2.8 Schéma zplyňovacích jednotek

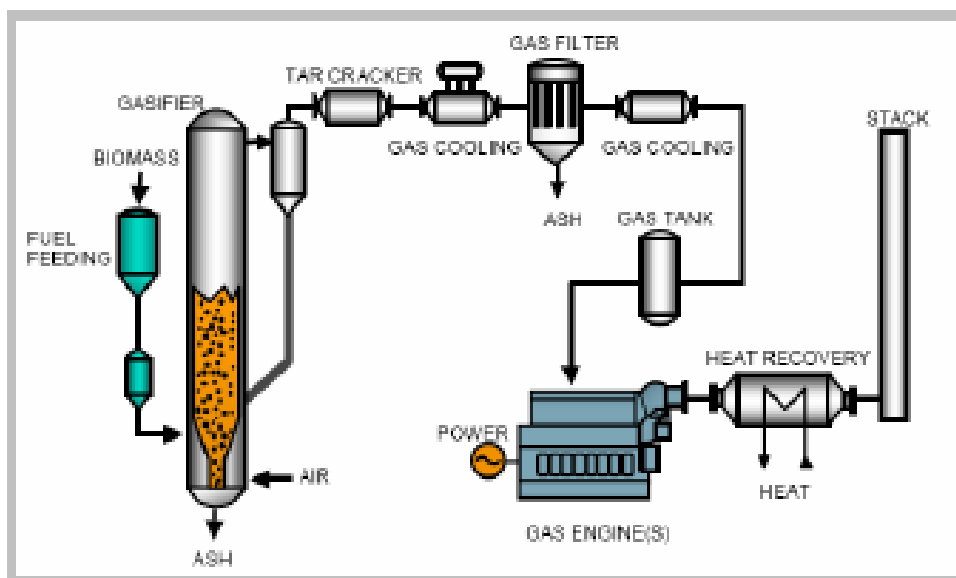
Pro představu jsou v této kapitole zobrazeny schémata zplyňování biomasy s různým finálním zpracovatelským strojem. Z těchto schémat bude vycházeno při tvorbě PFD schémat v praktické části diplomové práce.

Prvním schématem je zplyňování s využitím parní turbíny. Jedná se o nejběžnější provedení pro finální výrobu elektrické energie či tepla. Vstupní surovinou je biomasa společně se vzduchem, které projdou procesem zplynění, pokračují do plynového kotle, kde se ohřívá voda pro cyklus parní turbíny. [25]



Obrázek 8 – Schéma zplyňování s využitím parní turbíny [25]

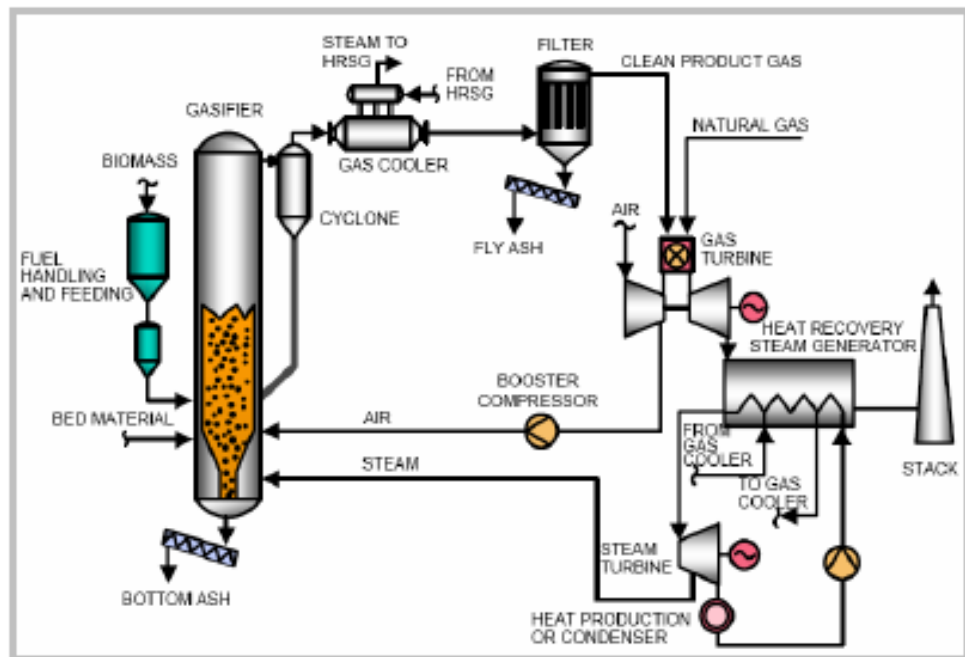
Druhou variantou je zplyňování s využitím plynového motoru. Jedná se o variantu, která je v současné době nejčastěji instalována, a tak pomalu dohání proces s parní turbínou. Vzhledem k nutnosti vysoké čistoty plynu pro zpracování motorem, je zapotřebí před motor instalovat čističe a separátory částic, které zamezí, aby do motoru vstupovala tuhá fáze a motor se tak zanášel. Nejčastějším rozsah výkonů bývá od jednotek až po tisíce kW. [25]



Obrázek 9 – Schéma zplyňování s využitím plynového motoru [25]

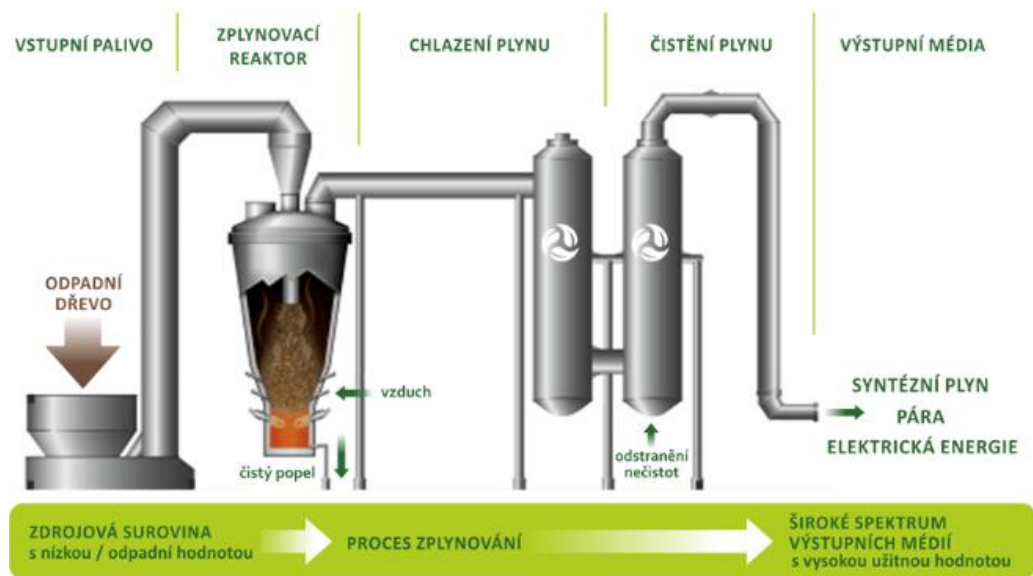
Třetí variantou je zplyňování s využitím paroplynového cyklu. Jedná se o proces, který kombinuje parní turbínu a spalování neboli tzv. spolu-spalování. Jeho výhodou je vyšší účinnost a pružnost. Parní turbína může být nahrazena motorem, což je v posledních letech nový trend, ale zvyšuje náročnost na čištění plynu. Podle schématického zapojení

je ze spalovací turbíny využito teplo, které jde do kotle, kde se spálením ohřívá vody, která se mění v páru a roztáčí parní turbínu. Další výhodou jsou akumulční zásobníky teplé vody, pro ohřev domácností nebo továren. [25]



Obrázek 10 – Schéma zplyňování s využitím paroplynového cyklu [25]

Pro představu, existuje na území ČR již několik elektráren, které spalují biomasu, za vznikem tepla nebo elektrické energie. Jednou z těchto elektráren je elektrárna v Kozomíně, konkrétně využívá dřevní štěpku. Účinnost této elektrárny se dostala na 36%, což je malým unikátem ve světě. Elektrárna zásobuje až 3000 domácností, měsíčně vyrobí 1000 MWh elektřiny. Instalovaný elektrický výkon je 2,1 MW_E a instalovaný tepelný výkon je 3,2 MW_T. Bohužel PFD schéma zatím neuniklo na veřejnost, je jen blokové schéma. [25]

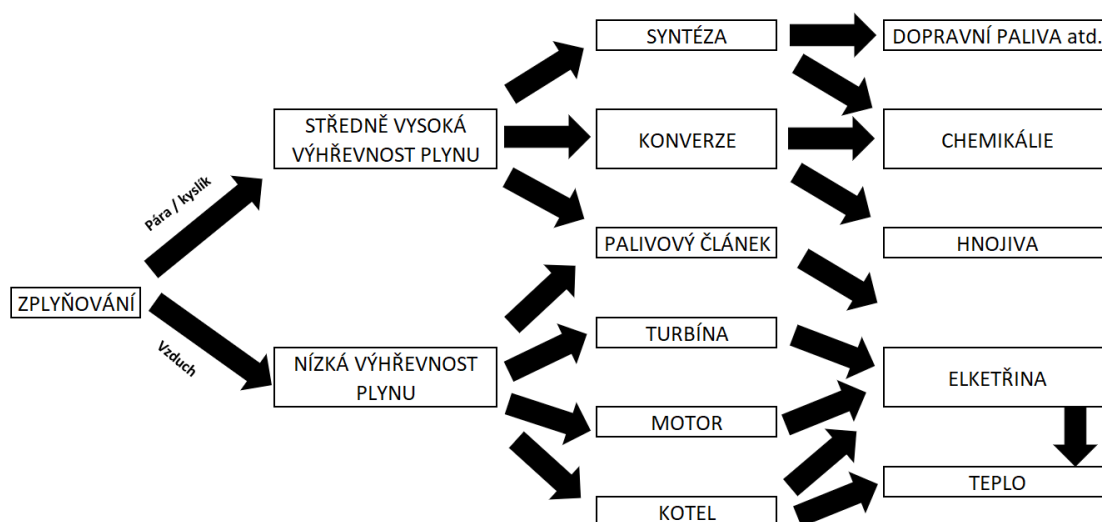


Obrázek 11 – Schéma zplyňování v elektrárně Kozomín [26]

Dalšíma elektrárnami spalující biomasu jsou například: elektrárna Poříčí, Hodonín, energetické centrum Jindřichův Hradec a elektrárna společnosti Step v Trutnově.

4 Využití produktového plynu

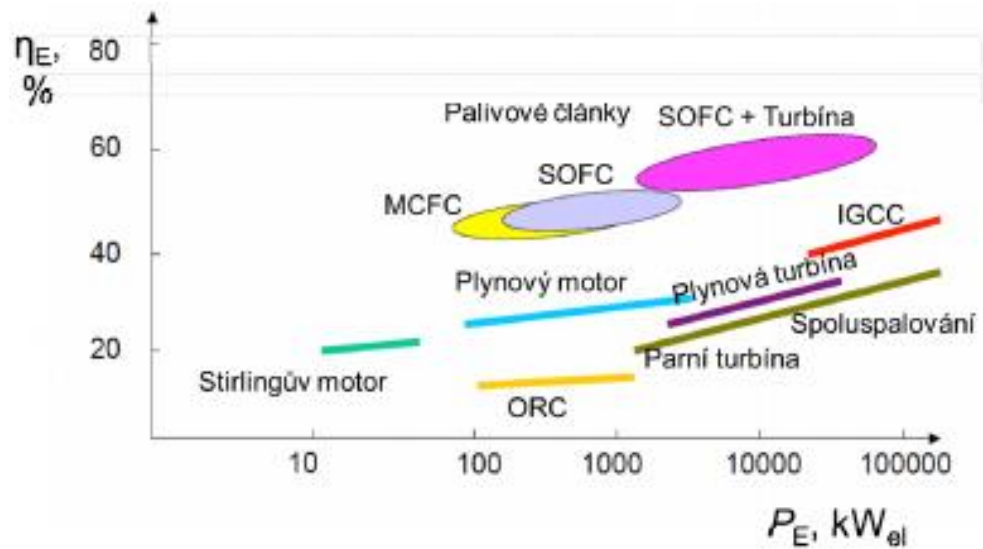
Využití produktového plynu závisí na jeho kvalitě, čímž se rozumí, složení a obsah jednotlivých složek v plynu, výhřevnost a čistota. Z energetického hlediska se dělí energetický plyn na středně-výhřevný plyn a nízko-výhřevný plyn. Středně-výhřevný plyn vzniká zplyňováním za pomoci media kyslíku, páry nebo kombinací. Jeho výhřevnost je vyšší než 10 MJ/m^3 . Nízko-výhřevný plyn vzniká zplyňováním za pomoci media vzduchu, jelikož vzduch je brán z atmosféry, a je tedy zdarma, je tento proces nejrozšířenějším v průmyslovém odvětví. Jeho výhřevnost se pohybuje mezi $2,5$ až 8 MJ/m^3 . Občas bývá použit společně se spolu-spalováním za účelem kombinované výroby elektrické energie a tepla. [24]



Obrázek 12 – Schéma zplyňování

Z tabulky je vidět, že středně-výhřevný plyn bývá použit jako syntézní plyn, z kterého se následně produkují dopravní paliva. Taktéž lze pomocí konverze ze středně-výhřevného plynu získat chemikálie a hnojiva. U nízko-výhřevného plynu je možné pomocí turbíny nebo motoru získávat elektrickou energii, kterou je možné přeměnit na teplo. Vhodné použití turbíny a motoru závisí na čistotě a tlaku plynu. V případě motoru jsou kladeny nižší nároky na čistotu plynu než v případě turbíny. Při použití procesu skrze kotel, jsou kladeny nejnižší nároky na čistotu a tlak produktového plynu, ovšem čistota ovlivní účinnost kotle. Nejběžnějším produktem po spálení produktového plynu v kotli je teplo. Pro obě varianty lze využít metody skrze palivový článek, zde je kladen vysoký požadavek na čistotu produktového plynu. [24]

Jednotlivé účinnosti využití jednotlivých procesů pro zpracování středně-výhřevného nebo nízko-výhřevného plynu jsou uvedeny graficky v následném grafu.



Graf 4 – Přehledný graf pro porovnání účinnosti a výkonu [24]

Graf ukazuje, že účinnost kolem 50 % dosahují palivové články a největší účinnost dosahuje turbína kolem 60 %. Nejvyšší výkon lze dosáhnout u spolu-spalování, avšak má širokou škálu výkonu v řádech tisíců až stotisíců kW, který záleží na účinnosti, a hlavně kvalitě a čistotě plynu.

5 Praktická část

Druhou částí diplomové práce bylo vypracování technicko-ekonomického zhodnocení gasifikace pro dvě gasifikační media.



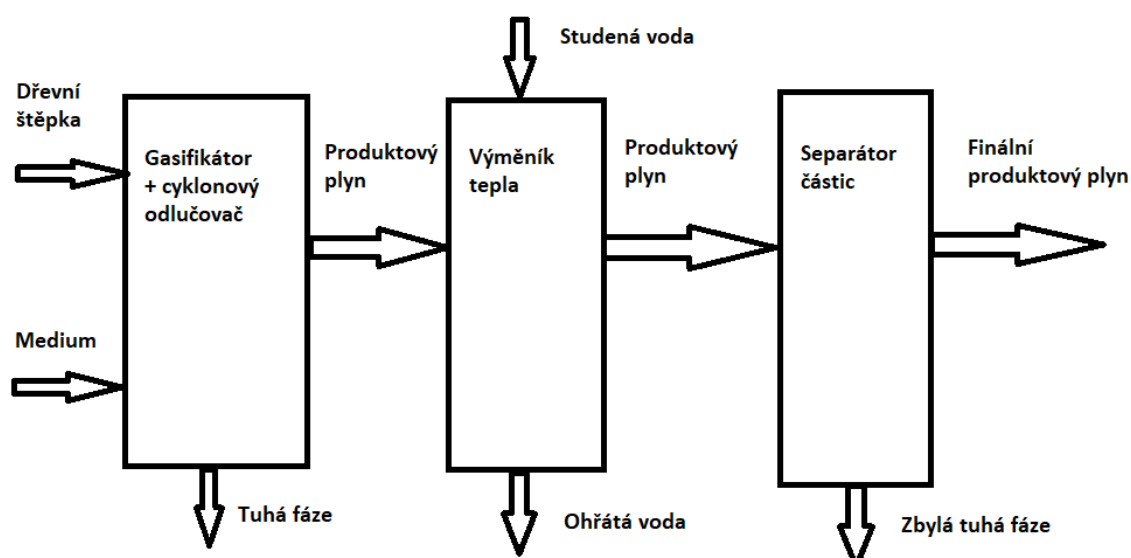
Obrázek 13 – Blokový diagram technologie zplyňování

Praktická část je věnovaná pouze hlavnímu proudu vlastního zplynění (zelená část) a neřeší se předúprava ani následné zpracování produktu (v tomto případě plynu). Důvodem je, že firmy nabízející zplyňovací jednotky, taktéž neřeší předúpravu ani následný proces, ale pouze hlavní část zplyňovací jednotky. Na této části, bude vedena praktická (technická) část diplomové práce a následně bude zhotoveno rozhodnutí, o rentabilitě zplyňovací jednotky v kapitole diskuse.

Technická část, zahrnuje hmotnostní a energetickou bilanci, PFD schéma, pro obě media. Ekonomické zhodnocení zahrnuje ekonomickou bilanci a grafy návratnosti.

5.1 Obecná definice vstupních podmínek

První částí pro zhotovení technicko-ekonomického zhodnocení gasifikace, bylo vytvoření vlastního blokového schéma, které je následně rozpracováno na jednotlivé aparáty,



Obrázek 14 - Blokové schéma výroby produktového plynu-medium

dále popsání vize zpracování biomasy, zvolen typ reaktoru, podmínky, nastavení parametrů a předpokladů. Následně zvolení vstupní hodnoty paliva, tedy vstupní surovinou byla určena dřevní štěpka o hmotnosti 1000 kg/h s vlhkostí 15 %, hustotou 650 kg/m³, při okolní teplotě 20°C. Dřevní štěpka je uvažovaná již nadrcená na přibližnou velikost 1cm³. Druhou část je určení si dvou medií. Prvním médiem byl určen vzduch, jelikož lze nejnázne získat a zdarma. Druhým médiem byla určena pára, jelikož díky svému složení, by měla mít lepší vlastnosti pro produktový plyn.

Typem biomasy pro zplyňování byla určena dřevní štěpka, jak pro své dobré vlastnosti, jednotné složení, tak typ biomasy, který se nachází na území ČR ve velkém množství.

Z poznatků z teoretické části, bylo nejprve vytvořeno PFD schéma, pro možný výpočet hmotnostně energetické bilance.

5.2 Zplyňování dřevní štěpky se vzduchem

5.2.1 PFD schéma

První krok v praktické části, bylo vytvoření PFD schéma, pro přiváděnou biomasu (dřevní štěpku) a medium vzduch. V příloze (P1) je PFD schéma celé technologie, mnou uvažované, pro hlavní proud.

5.2.2 Vstupní surovina

Jak bylo zmíněno ve vstupních podmínkách vstupní surovina byla určena dřevní štěpka o hmotnosti 1000 kg/h. Potřebné množství vzduchu pro zplyňování je 1/3 z hmotnosti biomasy, tedy uvažují 333,3 kg/h. Podmínky medií vychází ze zákonů zachování hmotnosti a energie. [27, 28]

5.2.3 Výstupní produkty

Výstupními produkty jsou nechtěná tuhá fáze (popeloviny, dehet atd.), uhlovodíky, kondenzát, ale hlavně produktový plyn, který obsahuje hlavní složky: dusík (N₂), oxid uhličitý (CO₂), vodík (H₂), vodní páry, oxid uhelnatý (CO), metan (CH₄), a zbylé látky v zanedbatelném množství.

5.2.4 Popis zpracování dřevní štěpky při výrobě produktového plynu

Zpracování biomasy (dřevní štěpky) začíná příjmem odpadu do příjmové haly. Z té se následně pomocí bagru, přemístí dřevní štěpka do zásobníku biomasy (B-111),

z kterého je dřevní štěpka sunuta do gasifikátoru (generátoru s fluidním ložem) (D-121), pomocí šnekového dopravníku (H-112), toto je tedy proud č.1. Do gasifikátoru je proudem č.10, za pomoci dmychadla (V-113) vháněn vzduch. V gasifikátoru probíhá proces zplyňování a získává se produktový plyn a nechtěná tuhá fáze, které v proudě č.2 jsou unášeny do cyklonového odlučovače (F-131). Nechtěná tuhá fáze, se odloučí a putuje zpět do gasifikátoru na další zplynění nebo je odváděná z gasifikátoru v proudě č.9 do zásobníku popelovin (B-181). Produktový plyn z cyklonového odlučovače, putuje na zchlazení v proudě č.3 do výměníku tepla (W-141). Chlazení zajišťuje studená voda z proudě č. 11, po ohřátí studené vody je čerpadlem (P-171) hnána dále do výměníku tepla (W-172), kde je voda chlazená vzduchem. Po zchlazení produktový plyn putuje proudem č.4 na dočištění od tuhé fáze do separátoru částic (F151), kde se odloučí nejjemnější tuhé částice, které putují proudem č.6 do zásobníku popelovin (B-161). Finální produktový plyn, je hnán dmychadlem (V-152) v proudě č.5.

Kompletní technologie je znázorněna v PFD schéma v příloze (P1).

5.2.5 Hmotnostní bilance

Hmotnostní bilanci je vypočítaná v programu MS Excel, podle metody, zákona zachování hmotnosti, vyučované v předmětu Projekt II, panem Ing. Jiřím Moravcem, Ph.D. Jedná se o ukázkový výpočet základní bilance biomasy (dřevní štěpky) na produktový plyn a jeho konkrétní složení. Výpočty jsou v příloze (P3).

Vzhledem k velkému množství obsahujících prvků v biomase a následném procesu, je metoda zjednodušena a řešena parciálně. Tedy neřeší detailní přeměny a sloučení jednotlivých prvků dle chemických reakcí, ale složky jako celek. Až následný produktový plyn, je rozložen na hlavní prvky. Složení produktového plynu, vychází ze studií. [27, 28, 29]

Vstupní hodnoty:

| VSTUP | Množství [kg/h] | Množství [%] |
|---------------|------------------------|---------------------|
| Dřevní štěpka | 1000 | 75,0 |
| Vzduch | 333,3 | 25,0 |
| <i>suma</i> | <i>1333,3</i> | <i>100</i> |

Tabulka 5 - Vstupní hodnoty-hmotnostní bilance-vzduch

Výstupní hodnoty:

| VÝSTUP | Množství [kg/h] | Množství [%] |
|------------------------|------------------------|---------------------|
| Produktový plyn | 1168,2 | 87,62 |
| Tuhá fáze | 153,3 | 11,50 |
| Uhlovodíky + kondenzát | 11,8 | 0,89 |
| <i>suma</i> | <i>1333,3</i> | <i>100</i> |

Tabulka 6 - Výstupní hodnoty-hmotnostní bilance-vzduch

Tuhá fáze činí celkově 153,3 kg/h, což je 11,5 % z celkového množství vstupních hodnot. Kde 10 % z celkového vstupního množství je odváděno v proudu č.9 a 1,5 % z celkového množství vstupního množství je odváděno v proudu č.6. [27, 28, 29, 21]

Množství uhlovodíků a kondenzátu je stanoveno na 1 % z celkového vstupního množství. [27, 28, 29, 21]

Kde složení výstupního plynu, je zjištěno z dat a následně přepočítáno na jednotlivé složky v plynu na hmotnostní množství. [27, 28, 29, 21]

Složení produktového plynu:

| VÝSTUP PLYNU | Množství [kg/h] | Množství [%] |
|---------------------|------------------------|---------------------|
| N ₂ | 528,0 | 45,2 |
| CO ₂ | 250,5 | 21,4 |
| H ₂ | 159,3 | 13,6 |
| vodní PÁRY | 106,0 | 9,1 |
| CO | 87,0 | 7,5 |
| CH ₄ | 25,7 | 2,2 |
| zbytek | 11,7 | 1,0 |
| <i>suma</i> | <i>1168,2</i> | <i>100</i> |

Tabulka 7 - Výstupní hodnoty produktového plynu-hmotnostní bilance-vzduch

Z definice bilancování, tedy zákon zachování hmotnosti, je známo, že co do systému vstoupí, tak také musí vystoupit. Tedy, suma hmotnostního vstupu, musí být rovna sumě hmotnostního výstupu. Což je vidět v předešlých tabulkách 6 a 7, kde se suma vstupu činí 1333,3 kg/h a suma výstupu činí taktéž 1333,3 kg/h. Tím je ověřena správnost výpočtu, že nikde „neuniká“ dané množství z jedné ze složek.

Program je v příloze (P3), kde je možné měnit hmotnostní množství vstupovaných látek, množství výstupních produktů, nebo měnit složení v produktovém plynu. Dle toho se mění výpočet hmotnostní bilance.

Hmotnostní účinnost tohoto procesu činí: 87,62 %.

Dále díky hmotnostní bilanci, bylo možné zjistit, zastoupení složek a množství (průtoky) v jednotlivých proudech (viz. PFD schéma, příloha P1) v procesu zplyňování.

| Proudy | množství [kg/h] | médium | množství [kg/h] | médium |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 1 | 1000 | dřevní štěpka | | |
| 2 | 1180 | produktový plyn | 153,3 | tuhá fáze |
| 3 | 1180 | produktový plyn | 20,04 | tuhá fáze |
| 4 | 1180 | produktový plyn | 20,04 | tuhá fáze |
| 5 | 1168,2 | produktový plyn | | |
| 6 | 11,6 | produktový plyn | 20,04 | tuhá fáze |
| 7 | 13032 | voda | | |
| 8 | 133,26 | tuhá fáze | | |
| 9 | 133,26 | tuhá fáze | | |
| 10 | 333,33 | vzduch | | |
| 11 | 13032 | voda | | |

Tabulka 8 - Průtoky v jednotlivých proudech-hmotnostní bilance-vzduch

5.2.6 Energetická bilance

Pro výpočet energetické bilance, se vychází ze zákona zachování energie, při uvažování, zanedbání tepelných ztrát do okolí. Pro určení energetických toků, jsou již známé hodnoty výkonu, teplotních rozdílů, hmotnostní toky, měrné tepelné kapacity a hodnoty reakčního tepla a latentního tepla.

Tepelná bilance gasifikátoru D-121:

Vstupní hodnoty:

| Vstupní hodnoty: | | |
|---------------------|--------|--------|
| vstupující teplota | 20 | °C |
| vystupující teplota | 850 | °C |
| cp | 1,7 | Kj/kgK |
| hm. tok biomasy | 1333,3 | kg/h |
| reakční teplo | 5 | MJ/kg |

Tabulka 9 - Vstupní hodnoty pro výpočet tepelného výkonu gasifikátoru-vzduch

Hodnota c_p (měrná tepelná kapacita), vychází z přibližného odhadu, že produktový plyn, by mohl mít přibližně podobnou hodnotu jako zemní plyn. Hodnota je ovlivněna teplotou. Kde hodnota je uvažovaná spíše k vyšší teplotě, jelikož při vyšší teplotě bude

plyn opouštět generátor. Zároveň je zapotřebí zohlednit, že v plynu je i nechtěná tuhá fáze v menším množství, která zvýší nepatrně hodnotu měrné tepelné kapacity. [30, 31, 32]

Výpočet tepelného výkonu Q [W]:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot h_r \quad (5.2.6.1)$$

$$Q = \frac{1333,3}{3600} \cdot 1,7 \cdot (850 - 20) + \frac{1333,3}{3600} \cdot \frac{5}{3600} \cdot 1000 = 523,09 \text{ kW} \quad (5.2.6.2)$$

Tepelná bilance výměníku tepla W-141:

Vstupní hodnoty:

| Vstupní hodnoty: | | |
|---------------------|--------|--------|
| vstupující teplota | 850 | °C |
| vystupující teplota | 40 | °C |
| c_p | 1,29 | Kj/kgK |
| hm. tok biomasy | 1168,2 | kg/h |
| latentní teplo | 2,24 | MJ/kg |

Tabulka 10 - Vstupní hodnoty pro výpočet tepelného výkonu výměníku tepla-vzduch

Hodnota c_p (měrná tepelná kapacita), vychází z přibližného odhadu, že produktový plyn, by mohl mít přibližně podobnou hodnotu jako zemní plyn. Hodnota je ovlivněna teplotou. Kde hodnota je uvažovaná spíše k nižší teplotě, jelikož při nižší teplotě bude dále plyn zpracováván. Zároveň je zapotřebí zohlednit, že v plynu je i nechtěná tuhá fáze v menším množství, která zvýší nepatrně hodnotu měrné tepelné kapacity. [30, 31, 32]

Výpočet tepelného výkonu Q [W]:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot h_r \quad (5.2.6.3)$$

$$Q = \frac{1168,2}{3600} \cdot 1,29 \cdot (850 - 40) + \frac{1168,2}{3600} \cdot \frac{2,24}{3600} \cdot 1000 = 339,27 \text{ kW} \quad (5.2.6.4)$$

Celková tepelná náročnost procesu je součet tepelného výkonu gasifikátoru a výměníku tepla, tedy 863,66 kW.

Na základě hmotnostní a energetické bilance, bylo možné dimenzovat jednotlivá zařízení, určit a vypočítat ekonomickou část pro zplyňování.

5.2.7 Určení cen zařízení

Kvalifikovaný odhad cen pro některá procesní zařízení a jejich výpočet je dán například v knize: Chemical Engineering design – Principles, Practice ad Economics of

Plant and Process Design. Od Towler Gavin, Sinnott Ray (2013). Z této knihy je vycházeno, pro výpočet cen a navržení jednotlivých procesních zařízení. [33]

Pro výpočet cen, kniha uvádí vztah:

$$C_e = a + b \cdot S^n \quad (5.2.7.1)$$

Kde: C_e je výsledný cena v [USD]

a je koeficient [USD]

b je koeficient [USD]

n je index [-]

S je rozměrový parametr [jednotka dle procesního zařízení]

Pro přepočtení cen na CZK je uvažován kurz: 1 USD = 24 CZK

5.2.7.1 Výpočty cen jednotlivých zařízení

Zásobník biomasy B-111

Zásobník biomasy je dimenzován na 2 m³, tedy tak, aby zabezpečil plynulý proces zplyňování na 1,3 hodiny. Je tedy jistota, že během obědové přestávky nebo řešení jiné práce zaměstnancem, je dostatek času, než bude potřeba opět zaplnit zásobník biomasou.

| a [USD] | b [USD] | S [m ³] | n [-] | Cena [USD] | Cena [CZK] | Zaokrouhlení [CZK] |
|-----------|-----------|-----------------------|---------|------------|------------|--------------------|
| 5 800 | 1 600 | 2 | 0,7 | 8 399,21 | 201 580,98 | 205 000 |

Tabulka 11 - Hodnoty pro výpočet ceny zásobníku biomasy B-111

Šnekový dopravník H-112

Šnekový dopravník je dimenzován na vzdálenost 5 m, což je dostatečná vzdálenost zásobníku biomasy od gasifikátoru, z kterého sálá teplo, aby nedošlo ke vzplanutí biomasy v zásobníku. Zároveň, šnekový dopravník je nejvhodnějším dopravníkem, pro zplyňovací proces, vzhledem k vysoké teplotě v gasifikátoru.

| <i>a [USD]</i> | <i>b [USD]</i> | <i>S [m]</i> | <i>n [-]</i> | <i>Cena [USD]</i> | <i>Cena [CZK]</i> | <i>Zaokrouhlení [CZK]</i> |
|----------------|----------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 46 000 | 1 320 | 5 | 1 | 52 600,0 | 1 262 400,0 | 1 270 000 |

Tabulka 12 - Hodnoty pro výpočet ceny šnekového dopravníku H-112

Zplyňovací generátor s fluidním ložem (gasifikátor) D-121

Zplyňovací generátor s fluidním ložem (gasifikátor) je dimenzován na 100 m³, velikost gasifikátoru je určena tak, že bylo vyhledán gasifikátor pro biomasu a upravená velikost pro požadované množství zpracovávané dřevní štěpky. Tedy:

$$\dot{V}_1 = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{1000}{650} \cong 1,54 \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (5.2.7.1.1)$$

Požadovaný objem pro biomasy (dřevní štěpky) za hodinu. Doba zdržení bude maximálně do 5 minut. Tedy, požadovaný objem pro dřevní štěpku bude:

$$V_1 = \frac{1,54}{12} \cong 0,13 [m^3] \quad (5.2.7.1.2)$$

$$\dot{V}_2 = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{333,33}{1,2} \cong 277,78 \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (5.2.7.1.3)$$

Požadovaný objem pro vzduch za hodinu. Doba zdržení bude maximálně do 5 minut. Tedy, požadovaný objem pro vzduch bude:

$$V_2 = \frac{277,78}{12} \cong 23,2 [m^3] \quad (5.2.7.1.4)$$

Odhadovaný objem pro fluidní vrstvu činí max 50 m³. K tomu uvažují prostor pro lože a další technické prvky max 15 m³. Celkový objem je součtem všech dílčích objemů:

$$V_c = V_1 + V_2 + V_f + V_p = 0,13 + 23,2 + 50 + 15 \cong 88,33 [m^3] \quad (5.2.7.1.5)$$

Po započtení rezervního prostoru je vypočítán celkový objem pro gasifikátor na 100 m³.

| <i>a [USD]</i> | <i>b [USD]</i> | <i>S [m³]</i> | <i>n [-]</i> | <i>Cena [USD]</i> | <i>Cena [CZK]</i> | <i>Zaokrouhlení [CZK]</i> |
|----------------|----------------|--------------------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 61500 | 32 500 | 100 | 0,8 | 1 355 348,3 | 32 528 359,3 | 32 600 000 |

Tabulka 13 - Hodnoty pro výpočet ceny zplyňovacího generátoru s fluidním ložem (gasifikátor) D-121

Cyklonový odlučovač F-131

Cyklonový odlučovač je dimenzován podle produkovaného plynu. Objem produkovaného plynu a produkovaných tuhých částic je 1333,3 m³/h, tedy 0,37 m³/s.

| | | | | | | |
|-----------|-----------|-------------------------|---------|------------|-------------|--------------------|
| a [USD] | b [USD] | S [m ³ /s] | n [-] | Cena [USD] | Cena [CZK] | Zaokrouhlení [CZK] |
| 128 000 | 89 000 | 0,37 | 0,5 | 182 163,0 | 4 371 911,9 | 4 400 000 |

Tabulka 14 - Hodnoty pro výpočet ceny cyklonového odlučovače F-131

Výměník tepla W-141

Výměník tepla je dimenzován podle teplosměnné plochy, která je zapotřebí, aby studená voda dostatečně ochladila teplý produktový plyn.

| Vstupní hodnoty pro výpočet VT | | |
|--------------------------------|---------|-------------------|
| Veličina | hodnota | Jednotky |
| Průtok | 1200,04 | m ³ /h |
| c_p | 1150 | J/kg/K |
| T_{vstup} | 850 | °C |
| $T_{výstup}$ | 40 | °C |

Tabulka 15 - Vstupní hodnoty pro výpočet VT

Hodnota c_p (měrná tepelná kapacita) [30, 31, 32]

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{vstup} - T_{výstup}) = \frac{1\,200,04}{3\,600} \cdot 1\,150 \cdot (850 - 40) \cong 310\,511 \text{ [W]} \quad (5.2.7.1.6)$$

| Vstupní hodnoty pro výpočet VT | | |
|--------------------------------|---------|----------|
| Veličina | hodnota | Jednotky |
| c_p | 4180 | J/kg/K |
| T_v_{vstup} | 20 | °C |
| $T_v_{výstup}$ | 40 | °C |

Tabulka 16 - Vstupní hodnoty studené vody pro výpočet VT

$$\dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T = \dot{m}_v \cdot c_{pv} \cdot \Delta T_v \quad (5.2.7.1.7)$$

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T}{c_{pv} \cdot \Delta T_v} = \frac{1\,200,04/3\,600 \cdot 1\,150 \cdot (850 - 40)}{4\,180 \cdot (40 - 20)} = 3,72 \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right] \cong 3,72 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (5.2.7.1.8)$$

Hodnota c_p (měrná tepelná kapacita) [30, 31, 32]

Tímto je zjištěný potřebný průtok pro chlazení produktového plynu na 40 °C

Pro výpočet teplosměnné plochy VT, je zapotřebí znát ΔT_{ln}

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_{vstup} - T_{výstup}) - (T_{vvstup} - T_{vvýstup})}{\ln \frac{(T_{vstup} - T_{výstup})}{(T_{vvstup} - T_{vvýstup})}} = \frac{(850 - 40) - (40 - 20)}{\ln \frac{(850 - 40)}{(40 - 20)}} = 213,4 \quad (5.2.7.1.)$$

$$S = \frac{Q}{k \cdot \Delta T_{ln}} = \frac{310\,511}{10 \cdot 213,4} \cong 146 \text{ [m}^2\text{]} \quad (5.2.7.1.10)$$

Hodnota $k = 10 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$ součinitele prostupu tepla vztažená na teplosměnnou plochu, jedná se o odhad pro VT voda-plyn (Šesták J., Rieger F., 1998). [34]

Tímto výpočtem je vypočítaná potřebná teplosměnná plocha pro VT, aby ochladil produktový plyn z 850 °C na 40 °C, při průtoku 3,72 l/s.

| a [USD] | b [USD] | S [m ²] | n [-] | Cena [USD] | Cena [CZK] | Zaokrouhlení [CZK] |
|-----------|-----------|-----------------------|---------|------------|--------------|--------------------|
| 28 000 | 54 | 146 | 1,2 | 49 360,78 | 1 184 658,81 | 1 190 000 |

Tabulka 17 - Hodnoty pro výpočet ceny VT W-141

Separátor částic F-151

Separátor částic je dimenzován stejně jako cyklonový separátor F-131. Jelikož bude separovat menší částice, z menšího objemu vzduchu, bude určitě levnější než cyklonový separátor F-131. Pro zajištění rezervy celkové ceny procesních zařízení, je uvažovaná stejná cena separátoru F-151 jako cyklonového separátoru F-131.

Dmychadlo V-113

Dmychadlo, které vhání vzduch do gasifikátoru, je dimenzováno na potřebný průtok, který musí dopravit. Vstupní hodnotou je 333,3 kg/h vzduchu o hustotě 1,2 kg/m³, tedy po přepočtu na objem:

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{333,3}{1,2} = 277,75 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (5.2.7.1.11)$$

| a [USD] | b [USD] | S [m ³ /h] | n [-] | Cena [USD] | Cena [CZK] | Zaokrouhlení [CZK] |
|-----------|-----------|-------------------------|---------|------------|------------|--------------------|
| 4 450 | 57 | 278 | 0,8 | 9 591,75 | 230 201,92 | 233 000 |

Tabulka 18 - Hodnoty pro výpočet ceny dmychadla V-113

Dmychadlo V-152

Dmychadlo, který žene produktový plyn z gasifikátoru, je dimenzováno na potřebný průtok, který musí dopravit. Vstupní hodnotou je 1168,2 kg/h vzduchu o hustotě 1,2 kg/m³, tedy po přepočtu na objem:

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{1168,2}{1,2} = 973,5 \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (5.2.7.1.12)$$

| <i>a [USD]</i> | <i>b [USD]</i> | <i>S [m³/h]</i> | <i>n [-]</i> | <i>Cena [USD]</i> | <i>Cena [CZK]</i> | <i>Zaokrouhlení [CZK]</i> |
|----------------|----------------|----------------------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 4 450 | 57 | 974 | 0,8 | 18 469,16 | 443 259,86 | 445 000 |

Tabulka 19 - Hodnoty pro výpočet ceny dmychadla V-152

Čerpadlo P-171

Čerpadlo je dimenzováno na průtok vody, který je třeba hnán z VT. Průtok je již spočítán, z výpočtů VT.

| <i>a [USD]</i> | <i>b [USD]</i> | <i>S [l/s]</i> | <i>n [-]</i> | <i>Cena [USD]</i> | <i>Cena [CZK]</i> | <i>Zaokrouhlení [CZK]</i> |
|----------------|----------------|----------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 8 000 | 240 | 3,72 | 0,9 | 8 782,89 | 210 789,32 | 212 000 |

Tabulka 20 - Hodnoty pro výpočet ceny čerpadla P-171

Zásobník popelovin B-181 a B-161

Zásobník popelovin je dimenzován na objem tuhé fáze (popeloviny, dehet atd.), který je potřeba dočasně uskladnit. Po naplnění zásobníku popelovin, je nutné vyvezení odpadu. Uvažováno, objem korby nákladního auta je maximálně 7,5 m³. Tedy na tuto hodnotu je dimenzován zásobník popelovin.

| <i>a [USD]</i> | <i>b [USD]</i> | <i>S [m³]</i> | <i>n [-]</i> | <i>Cena [USD]</i> | <i>Cena [CZK]</i> | <i>Zaokrouhlení [CZK]</i> |
|----------------|----------------|--------------------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 5 800 | 1 600 | 7,5 | 0,7 | 12 356,36 | 296 552,67 | 300 000 |

Tabulka 21 - Hodnoty pro výpočet ceny zásobníku popelovin B-161 a B-181

Celková cena procesních zařízení (aparátů), potřebné pro hlavní proud zplyňování dřevní štěpky, je součtem všech vypočítaných cen procesních zařízení. K celkové ceně procesních zařízení, je zapotřebí uvažovat cenu potrubí, která je stanovena z celkové ceny procesních zařízení a vynásobena koeficientem pro potrubí, tedy hodnotou 0,3. Dále je nutné připočítat montážní materiál a samotnou montáž. Zde je stejný princip. Jedná se o

koeficient 0,1 z celkové hodnoty procesních zařízení. Celkovou cenu technologie je zapotřebí násobit koeficientem 1,5, který zohledňuje použití legované oceli, pro vyšší teploty, které v tomto procesu jsou. Bez této hodnoty by suma odpovídala pouze uhlíkové oceli, která je použitelná do 250 °C. Hodnoty jsou získané z knihy: Chemical Engineering design – Principles, Practice ad Economics of Plant and Process Design. Od Towler Gavin, Sinnott Ray (2013). [33]

| Položka | cena za kus (zaokr.) | kusů | cena v Kč |
|---------------------------------------|----------------------|------|----------------------|
| Šnekový dopravník | 1 270 000 Kč | 1 | 1 270 000 Kč |
| Zásobník biomasy | 205 000 Kč | 1 | 205 000 Kč |
| Zplyňovací generátor s fluidním ložem | 32 600 000 Kč | 1 | 32 600 000 Kč |
| Cyklonový udlučovač | 4 400 000 Kč | 2 | 8 800 000 Kč |
| Tepelný výměník | 1 190 000 Kč | 1 | 1 190 000 Kč |
| Dmyhadlo za separátorem | 445 000 Kč | 1 | 445 000 Kč |
| Dmyhadlo-přívod vzduchu | 233 000 Kč | 1 | 233 000 Kč |
| Čerpadlo | 212 000 Kč | 1 | 212 000 Kč |
| Zásobník popelovin | 300 000 Kč | 2 | 600 000 Kč |
| Potrubí (kolena, rovné kusy atd.) | | | 13 666 500 Kč |
| Montážní materiál a montáž | | | 4 555 500 Kč |
| Celkem technologie | | | 95 665 500 Kč |

Tabulka 22 - Celkové náklady na procesní aparáty (zařízení)

Do celkové sumy, není zahrnut VT W-172, který je součástí PFD schéma (příloha P1), jelikož není uvažován jako součástí hlavního zplyňovacího proudu. Je zde jen znázorněn, jak by se dále zchlazovala voda z VT W-141, při uzavřeném oběhu studené vody pro chlazení.

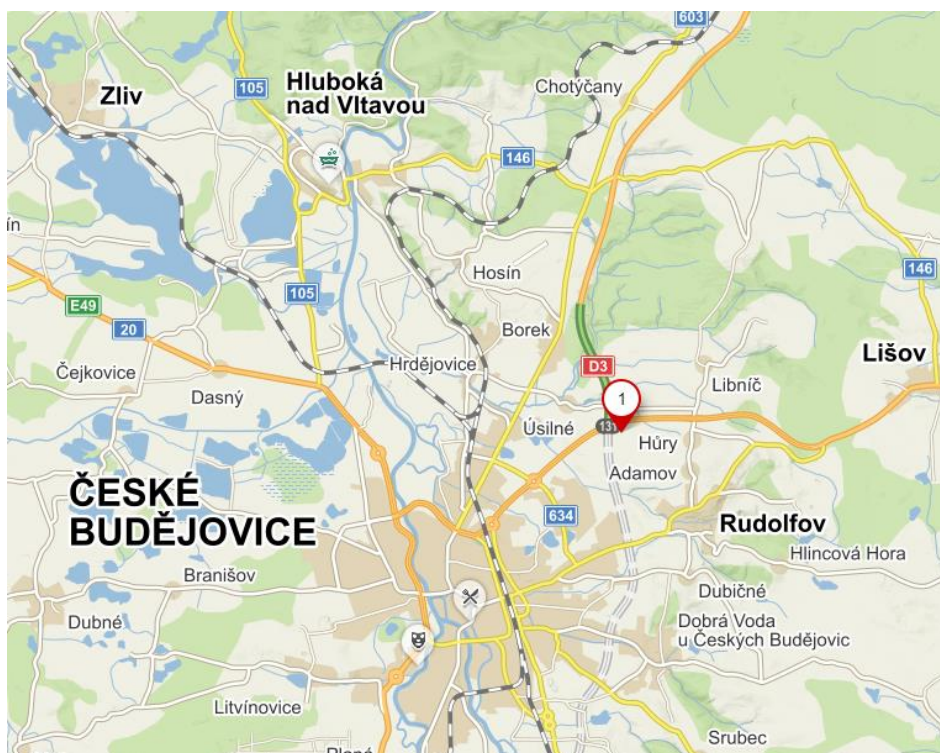
Kvalifikační odhad celkové sumy, pro hlavní procesní aparáty (zařízení), činí 95 665 500 Kč. S tím že, chyba může odhadem činit $\pm 15\div 30\%$. Procentuální odhad je získán z knihy: Chemical Engineering design – Principles, Practice ad Economics of Plant and Process Design. Od Towler Gavin, Sinnott Ray (2013). [33]

5.2.8 Stavba

Mezi tzv. fixní kapitálové investice, kam se řadí již vypočítané procesní aparáty (zařízení), patří také náklady na stavbu. Základem je vhodné umístění celkového procesu, aby se nezvyšovala cena dovozu. Zároveň, je vhodnější, pořizovat již postavenou budovu/halu, v které proběhne rekonstrukce a úpravy pro daný proces, jelikož není třeba zařizovat, veškerá a často zdlouhavá povolení na stavbu, vhodnost procesu na okolí, řešení přírodních cest a zdrojů.

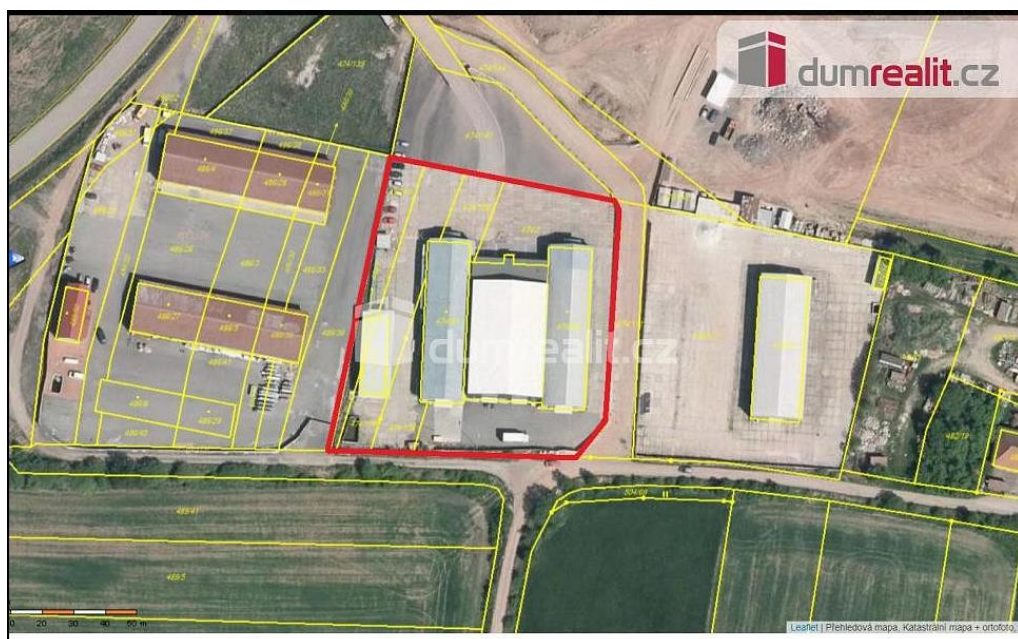
Z toho důvodu byla vybrána lokalita poblíž Českých Budějovic. Zplyňovací jednotka bude postavena na místě již existující haly, která projde následnou rekonstrukcí a úpravami, pro vhodné zapojení zplyňovací jednotky. Vhodností lokality je oblast, která je velice zalesněná a trpí kůrovcovou kalamitou. Z tohoto důvodu, by neměl být problém vykupovat dřevo jako dřevní štěpku, navíc, když okolí Šumavy a Českých Budějovic, se nachází několik linek na zpracování dřeva. V procesu zpracování dřeva je často až 55 % dřevního odpadu, často již nadrceného ve formě pilin, nebo menších kusů jako odřezků, zároveň jedná se často již o vysušené dřevo.

Hala má již postavenou příjezdovou pozemní komunikaci, nachází se blízko hlavní silnice a do budoucna by ve velké blízkosti, měla vzniknout dálnice D3. Na obrázku, je již dle státního plánování silnic a dálnic, naznačen tah D3.



Obrázek 15 - Umístění haly pro zplyňovací proces

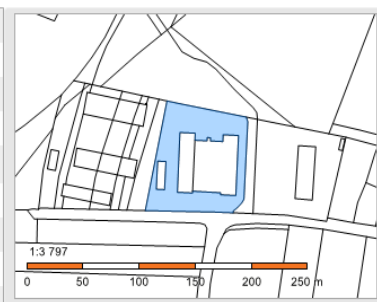
Hala má zároveň přivedené veškeré potřebné přívody, jako jsou: kanalizace, pitná voda, elektřina, plyn atd. Čímž, nevznikají vysoké investiční náklady na rekonstrukci a úpravy haly.



Obrázek 16 - Letecký pohled na pozemek haly

Informace o pozemku

| | |
|---------------------------|-------------------------------|
| Parcelní číslo: | 474/2 |
| Obec: | Hůry [535753] |
| Katastrální území: | Hůry [649651] |
| Číslo LV: | 271 |
| Výměra [m ²]: | 4318 |
| Typ parcely: | Parcela katastru nemovitostí |
| Mapový list: | DKM |
| Určení výměry: | Ze souřadnic v S-JTSK |
| Způsob využití: | jiná plocha |
| Druh pozemku: | ostatní plocha |



Sousední parcely

Vlastníci, jiní oprávnění

| Vlastnické právo | Podíl |
|---|-------|
| HVN Logistic s.r.o., č. p. 90, 37371 Hůry | |

Způsob ochrany nemovitosti

| |
|---|
| Nejsou evidovány žádné způsoby ochrany. |
|---|

Obrázek 17 - Informace o pozemku z portálu státní správa zeměměřictví a katastru

| Položka | kusů | cena v Kč |
|---|------|-------------------------|
| Budova včetně rekonstrukce budovy v hodnotě 5 mil CZK | | 35 000 000,00 Kč |
| Celkem stavby | | 35 000 000,00 Kč |

Tabulka 23 - Celkové náklady na stavbu

Prodejní cena stavby a pozemku na portálu dumrealit.cz činí 30 milionů Kč. Odhadovaná cena na úpravy a rekonstrukce pro zplyňovací jednotku, je stanovena na 5 milionů Kč.

5.2.9 Celkové fixní kapitálové investice

Celkové fixní kapitálové investice, jsou součtem jednotlivých fixních investic.

| Položka | | kusů | cena v Kč |
|---|--|------|-----------------------|
| Budovy a stavby | | | 35 000 000 Kč |
| Technologie | | | 95 666 000 Kč |
| Projekční a inženýrská činnost | | | 10 067 000 Kč |
| Projektová rezerva | | | 7 037 000 Kč |
| Celkové fixní kapitálové investice | | | 147 770 000 Kč |

Tabulka 24 - Celkové fixní kapitálové investice

Projekční a inženýrská činnost je vypočítaná jako suma ceny technologie (celková cena procesních aparátů) a cena na rekonstrukce a úpravy haly, násobená koeficientem 0,1.

$$C_{\text{projekční}} = (c_{\text{budovy}} + c_{\text{technologie}}) \cdot 0,1 = (35\,000\,000 + 95\,666\,000) \cdot 0,1 \cong 10\,067\,000 \text{ Kč} \quad (5.2.9.1)$$

Projektová rezerva je počítaná jako součet ceny za budovy a stavby, technologii a projekční a inženýrskou činnost, násobená koeficientem 0,05.

$$C_{\text{rezerva}} = (c_{\text{budovy}} + c_{\text{technologie}} + c_{\text{projekční}}) \cdot 0,05 = (35\,000\,000 + 95\,666\,000 + 10\,067\,100) \cdot 0,05 \cong 7\,037\,000 \text{ Kč} \quad (5.2.9.2)$$

Celkové fixní kapitálové investice činí 147 770 000 Kč i s rezervou.

5.2.10 Splacení úvěru

Uvažuje-li se, že půjčku si bere věrohodná firma, u banky s rozumnými úroky, na částku 120 milionů Kč, tak úrok by mohl činit 9 % p.a., dle legislativy na dobu 10 let. Následná tabulka ukazuje postupné splácení úvěru.

| | | | | |
|---------------|--------------------------|------------------|-------------------------|-------------------|
| úvěr | 120 000 000 Kč | | | |
| úroková sazba | 9,00 % p.a. | | | |
| doba úročení | 10,00 roky | | | |
| | pravidelná splátka bance | | splátka úvěru (vlastní) | |
| rok | anuita | splátka úroku | splátka jistiny | zůstatek půjčky |
| 1 | 18 698 410,79 Kč | 10 800 000,00 Kč | 7 898 410,79 Kč | 112 101 589,21 Kč |
| 2 | 18 698 410,79 Kč | 10 089 143,03 Kč | 8 609 267,76 Kč | 103 492 321,45 Kč |
| 3 | 18 698 410,79 Kč | 9 314 308,93 Kč | 9 384 101,86 Kč | 94 108 219,59 Kč |
| 4 | 18 698 410,79 Kč | 8 469 739,76 Kč | 10 228 671,03 Kč | 83 879 548,57 Kč |
| 5 | 18 698 410,79 Kč | 7 549 159,37 Kč | 11 149 251,42 Kč | 72 730 297,15 Kč |
| 6 | 18 698 410,79 Kč | 6 545 726,74 Kč | 12 152 684,05 Kč | 60 577 613,10 Kč |
| 7 | 18 698 410,79 Kč | 5 451 985,18 Kč | 13 246 425,61 Kč | 47 331 187,49 Kč |
| 8 | 18 698 410,79 Kč | 4 259 806,87 Kč | 14 438 603,91 Kč | 32 892 583,58 Kč |
| 9 | 18 698 410,79 Kč | 2 960 332,52 Kč | 15 738 078,27 Kč | 17 154 505,31 Kč |
| 10 | 18 698 410,79 Kč | 1 543 905,48 Kč | 17 154 505,31 Kč | 0,00 Kč |

Tabulka 25 - Splácení úvěru

5.2.11 Roční prodejní cena plynu

Uvažuje-li se, že množství zpracovávané biomasy činí 1000 kg/h, se vzduchem 333,3 kg/h, výsledný produktový plyn činí 1168,2 kg/h, dále je uvažovaný třísměnný provoz po osmi hodinách, po dobu 360 dní v roce, kde 5 dní je vyhrazeno na kompletní revizi a čištění, získá se zplyněním biomasy s příměsí vzduchu jako media za rok 10 093 248 kg, tedy 8 776 737,39 m³.

Uvažuje se, že plyn by byl stejně kvalitní jako zemní plyn, což tomu tak není. Tak cena za jeden meter krychlový, bude v optimistickém pohledu 6 Kč. Kvalita plynu, vlivem zplyňování, nestejnorodostí vstupní dřevní štěpky rozhodně nižší, než má zemní plyn. Pro model, který představuje tato DP, uvažuje se, že kvalita je stejná a výkupní cena bude také bez uvažované distribuce a dalších potřebných prvků, které jsou zahrnuty při prodeji pro odběratele.

Cena zemního plynu na burze činí 1,86 Kč/m³, ale zde není uvažována distribuce a další potřebné prvky, které se zahrnují do ceny pro uživatele. Cena zemního plynu od Jihočeské plynárenské činí 1270 Kč/MWh, kde 1 m³ = 10,5 kWh. Z čeho lze dopočítat cenu zemního plynu za 1 m³. [35]

$$C_{ZP} = \frac{\text{cena za } 1MWh \cdot 0,0105 \text{ MWh } (1m^3)}{1 \text{ MWh}} = \frac{1270 \cdot 0,0105}{1} = 13,34 \text{ Kč} \quad (5.2.11.1)$$

Tedy jak bylo zmíněno, odečte-li se od ceny 13,34 Kč cena za distribuci a další prvky, bude cena přibližně poloviční. Proto je uvažovaná cena produktového plynu 6 Kč/m³.

Vyprodukované množství 8 776 737,39 m³, při ceně 6 Kč/m³, se získá 52 660 424,35 Kč.

5.2.12 Přímé provozní náklady

Jedná se o náklady přímo úměrné množství vyprodukovaného produktu. Tedy o suroviny, energie, údržbu, obsluhu a rezervu.

5.2.12.1 Suroviny

Základní surovinou je biomasa (dřevní štěpka). V okolí Českých Budějovic, tedy v blízkosti Šumavy, se jedná o oblast bohatou na dřevní porost. Zároveň se jedná o oblast, kde se zpracovává dřevo, a tedy je zde velké množství dřevního odpadu. V pilách a truhlářství, se jedná převážně až o 55 % dřevního odpadu, ze vstupní suroviny na zpracování konečného produktu. Tedy jedná se oblast, kde je dlouhodobě zaručeno velké množství odpadní dřevní štěpky (dřevního odpadu) pro zplyňování.

Výkupní cena palivového dřeva je 1 200 Kč/m³, tedy po přepočtu při hustotě dřeva 650 kg/m³, se jedná přibližně o 1,9 Kč/kg. Zároveň se jedná o oblast, nakaženou kůrovcem, tedy lze uvažovat, že cena může klesat, jelikož dřevo napadené kůrovcem není vhodné pro dřevařský průmysl.

| | | |
|-------------------------|--------|--------------|
| biomasa (dřevní štěpka) | kg/rok | 8 640 000 |
| cena - biomasy | Kč/kg | 1,9 |
| Cena za rok | Kč | 16 416 000,0 |

Tabulka 26 - Cena biomasy

Další surovinou, dalo by se říci, je vzduch. Celkové množství pro zplyňování za rok je 2 540 400 m³. Vzduch je brán z atmosféry, tedy cenové zatížení je nulové.

| | | |
|----------------|---------------------|-----------|
| vzduch | m ³ /rok | 2 540 400 |
| cena - vzduchu | Kč/m ³ | 0,0 |

Tabulka 27 - Cena vzduchu

Poslední surovinou je voda na chlazení VT. Jelikož se jedná o uzavřený okruh, postačí 100 l vody na rok. Jednou ročně, se voda vymění. Cena svodného a stočného činí okolo 0,07 Kč/l vody. Jedná se tedy o zanedbatelnou položku.

| | | |
|--------------|-------|---------|
| voda | l/rok | 100,000 |
| cena - vody | Kč/l | 0,070 |
| Celková cena | Kč | 7 |

Tabulka 28 - Cena vody

Energetická náročnost, tedy elektrická energie je vypočtena v MS Excel příloha (P5), na 0,9 MW. I s rezervou je uvažováno na 1 MW. Cena elektřiny včetně jističů, v rámci vysokého tarifu činí 2,1 Kč/kWh.

| | | |
|------------------|--------|-------|
| elektřina | kW | 1 000 |
| Cena - elektřina | Kč/kWh | 2,10 |
| Celková cena | Kč | 2 100 |

Tabulka 29 - Cena elektřiny

Spotřební materiál, tedy chemikálie na čištění jsou vypočteny na m³, tedy je uvažováno 0,005 Kč/m³. Náklady na údržbu, jsou vypočteny koeficientem 0,8 z fixní kapitálové investice.

Osobní náklady, tedy náklady na lidský personál, který obsluhuje zplyňovací jednotku jsou přizpůsobené hrubé mzdě v okolí Českých Budějovic. Je uvažováno s jedním vedoucím, který řídí veškerý průběh zplyňovací jednotky. Ovšem stačí, aby byl přítomen jen na jedné směně, jelikož veškeré papírování, kontrolu, podepsání faktur a dalších důležitých ležster stihne za jednu osmi hodinovou směnu. Ovšem musí být, pro případ nouze na mobilním zařízení. Dále ve zplyňovací lince pracují tři řadoví zaměstnanci, kteří mají na starost, ovládací panel, kontrolu zplyňovací jednotky, doplňování dřevní štěpky do zásobníku biomasy atd.

| Osobní náklady | | | |
|----------------|---|----|--------|
| | počet vedoucích | ks | 1 |
| | počet ostatních pracovníků - obsluhy | ks | 3 |
| | Počet směn | ks | 3 |
| | Průměrná hrubá mzda - vedoucí | Kč | 40 000 |
| | Průměrná hrubá mzda - ostatní personál, obsluha | Kč | 30 000 |

Tabulka 30 - Osobní náklady na obsluhu

5.2.13 Nepřímé provozní náklady

Tyto náklady jsou nepřímo úměrné množství vyprodukovaného produktu. Jedná se o pojištění, úroky, podíl z režie, rezervu, daně a odpisy.

Rezerva je stanovena 2 % z přímých provozních nákladů.

Podíl na režii je stanoven na 40 % (z nákladů na obsluhu a dozor a 50 % nákladů na údržbu).

Pojištění je stanoveno na 0,5 % z fixní kapitálové investice.

5.2.13.1 Odpisy

Odpisy byly stanoveny dle tabulky:

| | | |
|---|------|-------------|
| Životnost projektu (= doba provozování) | roků | 35 |
| Bankovní úvěr | Kč | 120 000 000 |
| Doba úročení | roků | 10,00 |
| Roční úroková sazba úvěru (p.a.) | % | 9,00 |
| doba odepisování - stavby | roků | 20 |
| odpisy v prvním roce | % | 1,4 |
| odpisy v dalších letech | % | 3,4 |
| investice - stavby = vstupní cena pro výpočet odpisů | Kč | 35 000 000 |
| doba odepisování - technologie | roků | 5 |
| odpisy v prvním roce | % | 11,0 |
| odpisy v dalších letech | % | 22,3 |
| investice - technologie = vstupní cena pro výpočet odpisů | Kč | 95 665 500 |
| Daň z příjmu | % | 19 |

Tabulka 31 - Odpisy

Náklady na distribuci činí 2 % z přímých provozních nákladů.

Pro přehlednost a celkové sumy jednotlivých nákladů a zisků je vytvořena tabulka: *Provozní náklady, zdanitelné náklady, zisk a daně.*

Pokud jsou vyčísleny všechny příjmy a výdaje, je možné určit toky hotovosti zplyňovacího projektu, doba návratnosti, cashflow (příloha P5).

| Příjmy z prodeje vody - tržby | Kč/rok | 52 660 424 |
|---|---------------|-------------------|
| Provozní náklady bez odpisů a daně | Kč/rok | 47 452 532 |
| Přímé provozní náklady | Kč/rok | 42 915 562 |
| Suroviny | Kč/rok | 16 416 007 |
| Energie | Kč/rok | 18 144 000 |
| Osobní náklady | Kč/rok | 6 271 200 |
| Dozor obsluhy = mistři | Kč/rok | 0 |
| Náklady na údržbu | Kč/rok | 1 182 160 |
| Spotřební materiál | Kč/rok | 43 884 |
| Rezerva | Kč/rok | 858 311 |
| Nepřímé provozní náklady | Kč/rok | 3 483 762 |
| Pojištění | Kč/rok | 738 850 |
| Podíl na podnikové režii | Kč/rok | 2 744 912 |
| Distribuční náklady | Kč/rok | 1 053 208 |
| Transport a distribuce | Kč/rok | 1 053 208 |
| Zdanitelné výnosy | Kč/rok | 5 207 892 |
| Odpisy investičního majetku | | |
| odpisy v 1. roce | Kč/rok | 11 013 205 |
| odpisy v roce 2 až x | Kč/rok | 22 475 574 |
| odpisy v letech x až y | Kč/rok | 1 190 000 |
| Roční zisk před zdaněním | | |
| první rok | Kč/rok | -5 805 313 |
| rok 2 až x | Kč/rok | -17 267 682 |
| rok x až y | Kč/rok | 4 017 892 |
| rok y až konec | Kč/rok | 5 207 892 |
| Daň z příjmu | | |
| první rok | Kč/rok | -1 103 009 |
| rok 2 až x | Kč/rok | -3 280 860 |
| rok x až y | Kč/rok | 763 399 |
| rok y až konec | Kč/rok | 989 499 |

Tabulka 32 - Provozní náklady, zdanitelné náklady, zisk a daň

5.2.14 Rentabilita (ziskovost)

Hlavním cílem této diplomové práce je ověřit či vyvrátit, zda je proces zplyňování, při takto navržených parametrech (uvažování hlavního proudu, bez předúprav biomasy a následného čištění plynu), ziskovost zplyňovací jednotky. Ziskovost ukazuje například doba návratnosti, ROI neboli Return on investment (návratnost investice) a DCFRR neboli Discounted Cash-Flow Rate of Return (diskontovaná míra návratnosti toku hotovosti). [36]

5.2.14.1 Doba návratnosti

Doba návratnosti je zvolená jako hlavní ukazatel ziskovosti, díky své přehlednosti. Další detailní typy ukazatelů ziskovosti jsou v příloze (P5).

| | | | |
|---------|---------|-----------------|--------------------------|
| 35 | let | dobu životnosti | |
| 8% | | diskont | |
| 147 770 | tis. Kč | investice | |
| 31 | let | PDN | |
| 30 | let | RDN | (PŘECHOD DO KLAD. ČÍSEL) |
| -82 755 | tis. Kč | NPV | |
| 11% | | IRR | |
| 12% | | IRR vlastní | |

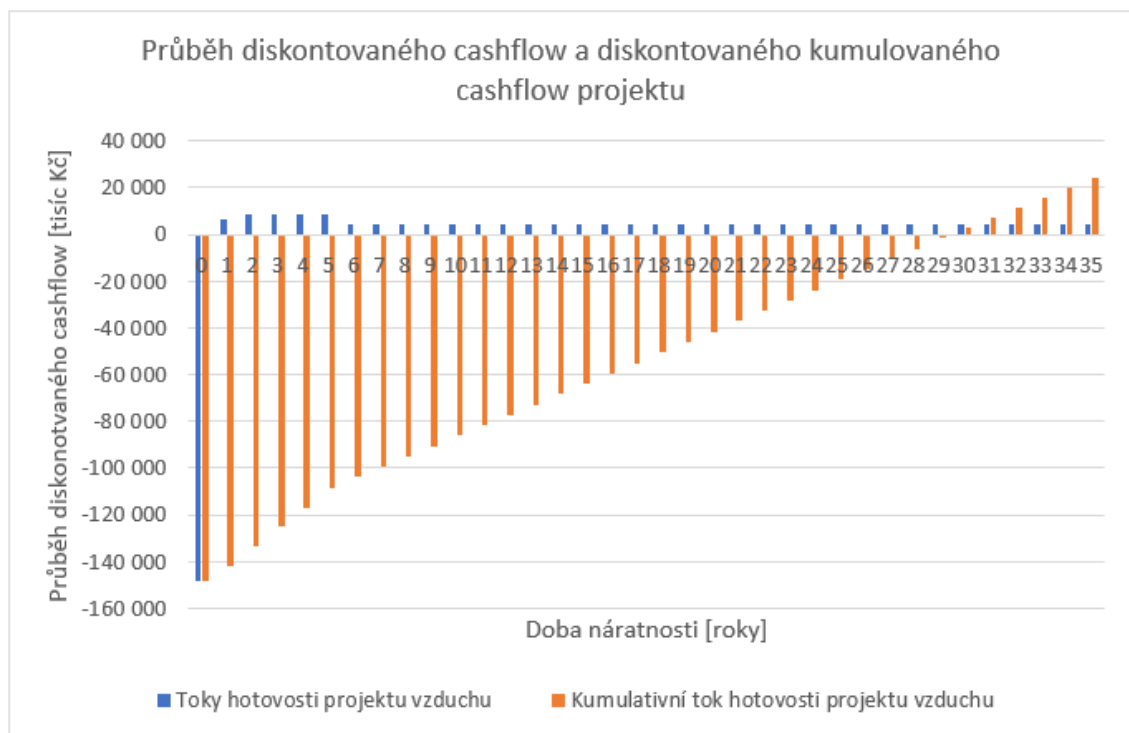
Tabulka 33 - Typy ziskovosti

Doba návratnosti se dá určit ze vzorce

$$DN = \frac{INV}{CF} \quad (5.2.14.1.1)$$

kde DN vyjadřuje dobu návratnosti, INV je investovaný kapitál, CF jsou toky hotovosti v projektu. [36]

Dobu návratnosti lze určit i grafem, který ukazuje závislost kumulovaného CF na době životnosti.



Graf 5 - Průběh diskontovaného cashflow a diskontovaného kumulovaného cashflow projektu

5.3 Zplyňování dřevní štěpky s párou

5.3.1 PFD schéma

Opět první krok v praktické části pro zplyňování za pomoci media páry, bylo vytvoření PFD schéma, pro přiváděnou biomasu (dřevní štěpku) a medium páry. V příloze (P2) je PFD schéma celé technologie, mnou uvažované, pro hlavní proud.

5.3.2 Vstupní surovina

Jak bylo zmíněno ve vstupních podmínkách vstupní surovina byla určena dřevní štěpka o hmotnosti 1000 kg/h. Potřebné množství páry pro zplyňování je 805 kg/h, o uvažované teplotě 345 °C a přetlaku 120 kPa. Podmínky medií vychází ze zákonů zachování hmotnosti a energie. [27, 28, 37]

5.3.3 Výstupní produkty

Výstupními produkty jsou nechtěná tuhá fáze (popeloviny, dehet atd.), uhlovodíky, kondenzát, ale hlavně produktový plyn, který obsahuje hlavní složky: vodík (H₂), oxid uhelnatý (CO), oxid uhličitý (CO₂), metan (CH₄) a zbylé látky v zanedbatelném množství.

5.3.4 Popis zpracování dřevní štěpky při výrobě produktového plynu

Zpracování biomasy (dřevní štěpky) začíná příjmem odpadu do příjmové haly. Z té se následně pomocí bagru, přemístí dřevní štěpka do zásobníku biomasy (B-111), z kterého je dřevní štěpka sunuta do gasifikátoru (generátoru s fluidním ložem) (D-121), pomocí šnekového dopravníku (H-112), toto je tedy proud č.1. Do gasifikátoru je proudem č.9, vháněna pára vlivem přetlaku. V gasifikátoru probíhá proces zplyňování a získává se produktový plyn a nechtěná tuhá fáze, které v proudu č.2 jsou unášeny do cyklonového odlučovače (F-131). Nechtěná tuhá fáze, se odloučí a putuje zpět do gasifikátoru na další zplynění nebo je odváděná z gasifikátoru v proudu č.8 do zásobníku popelovin (B-181). Produktový plyn z cyklonového odlučovače, putuje na zchlazení v proudu č.3 do výměníku tepla (W-141). Chlazení zajišťuje studená voda z proudu č. 10, po ohřátí studené vody je čerpadlem (P-171) hnána dále do výměníku tepla (W-172), kde je voda chlazená vzduchem. Po zchlazení produktový plyn putuje do kondenzátoru (W-142), kde probíhá zároveň proces separace zbylých částic tuhé fáze. Zde se odloučí nejjemnější tuhé částice, které putují proudem č.5. Finální produktový plyn, je hnán dmychadlem (V-152) v proudu č.4.

Kompletní technologie je znázorněna v PFD schéma v příloze (P2).

5.3.5 Hmotnostní bilance

Hmotnostní bilanci je vypočítaná stejně jako v případě zplyňování dřevní štěpky za pomoci media vzduchu, v programu MS Excel, podle metody, zákona zachování hmotnosti, vyučované v předmětu Projekt II, panem Ing. Jiřím Moravcem, Ph.D. Jedná se o ukázkový výpočet základní bilance biomasy (dřevní štěpky) na produktový plyn a jeho konkrétní složení. Výpočty jsou v příloze (P4). Stejná metoda je zvolena, pro přesnější porovnání do závěrečné diskuse.

Vzhledem k velkému množství obsahujících prvků v biomase a následném procesu, je metoda zjednodušena a řešena parciálně. Tedy neřeší detailní přeměny a sloučení jednotlivých prvků dle chemických reakcí, ale složky jako celek. Až následný produktový plyn, je rozložen na hlavní prvky. Složení produktového plynu, vychází ze studií.

Vstupní hodnoty:

| VSTUP | Množství [kg/h] | Množství [%] |
|---------------|------------------------|---------------------|
| Dřevní štěpka | 1000 | 55,4 |
| Pára | 805 | 44,6 |
| <i>suma</i> | <i>1805</i> | <i>100</i> |

Tabulka 34 - Vstupní hodnoty-hmotnostní bilance-pára

Výstupní hodnoty:

| VÝSTUP | Množství [kg/h] | Množství [%] |
|------------------------|------------------------|---------------------|
| Produktový plyn | 1572,5 | 87,12 |
| Tuhá fáze | 216,6 | 12 |
| Uhlovodíky + kondenzát | 15,9 | 0,88 |
| <i>suma</i> | <i>1805</i> | <i>100</i> |

Tabulka 35 - Výstupní hodnoty-hmotnostní bilance-pára

Tuhá fáze činí celkově 216,6 kg/h, což je 12 % z celkového množství vstupních hodnot. Kde 10 % z celkového vstupního množství je odváděno v proudu č.8 a 2 % z celkového množství vstupního množství je odváděno v proudu č.5. [27, 28, 37]

Množství uhlovodíků a kondenzátu je stanoveno na 1 % z celkového vstupního množství. [27, 28, 37]

Kde složení výstupního plynu, je zjištěno z dat a následně přepočítáno na jednotlivé složky v plynu na hmotnostní množství. [27, 28, 37]

Složení produktového plynu:

| VÝSTUP PLYNU | Množství [kg/h] | Množství [%] |
|--------------|-----------------|--------------|
| H2 | 534,7 | 34 |
| CO | 518,9 | 33 |
| CO2 | 290,9 | 18,5 |
| CH4 | 212,3 | 13,5 |
| zbytek | 15,7 | 1 |
| suma | 1572,5 | 100 |

Tabulka 36 - Výstupní hodnoty produktového plynu-hmotnostní bilance-pára

Z definice bilancování, tedy zákon zachování hmotnosti, je známo, že co do systému vstoupí, tak také musí vystoupit. Tedy, suma hmotnostního vstupu, musí být rovna sumě hmotnostního výstupu. Což je vidět v předešlých tabulkách 35 a 36, kde se suma vstupu činí 1805 kg/h a suma výstupu činí taktéž 1805 kg/h. Tím je ověřena správnost výpočtu, že nikde „neuniká“ dané množství z jedné ze složek.

Program je v příloze (P4), kde je možné měnit hmotnostní množství vstupovaných látek, množství výstupních produktů, nebo měnit složení v produktovém plynu. Dle toho se mění výpočet hmotnostní bilance.

Hmotnostní účinnost tohoto procesu činí: 87,12 %.

Dále díky hmotnostní bilanci, bylo možné zjistit, zastoupení složek a množství (průtoky) v jednotlivých proudech (viz. PFD schéma, příloha P2) v procesu zplyňování.

| Proudy | množství [kg/h] | médium | množství [kg/h] | médium |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 1 | 1000 | dřevní štěpka | | |
| 2 | 1588,4 | produktový plyn | 216,6 | tuhá fáze |
| 3 | 1588,4 | produktový plyn | 35,77 | tuhá fáze |
| 4 | 1572,52 | produktový plyn | | |
| 5 | 15,9 | produktový plyn | 35,77 | tuhá fáze |
| 6 | 18 097 | voda | | |
| 7 | 180,83 | tuhá fáze | | |
| 8 | 180,83 | tuhá fáze | | |
| 9 | 805 | pára | | |
| 10 | 18097 | voda | | |

Tabulka 37 - Průtoky v jednotlivých proudech-hmotnostní bilance-pára

5.3.6 Energetická bilance

Pro výpočet energetické bilance, se vychází stejně jako v předchozím případě, při zplyňování za pomoci media vzduchu, ze zákona zachování energie, při uvažování, zanedbání tepelných ztrát do okolí. Pro určení energetických toků, jsou již známé hodnoty výkonu, teplotních rozdílů, hmotnostní toky, měrné tepelné kapacity a hodnoty reakčního tepla a latentního tepla. Opět byla použita stejná metoda, pro lepší porovnání do závěrečné diskuse.

Tepelná bilance gasifikátoru D-121:

Vstupní hodnoty:

| | | |
|---------------------|------|--------|
| Vstupní hodnoty: | | |
| vstupující teplota | 20 | °C |
| vystupující teplota | 850 | °C |
| c_p | 1,7 | Kj/kgK |
| hm. tok biomasy | 1805 | kg/h |
| reakční teplo | 5 | MJ/kg |

Tabulka 38 - Vstupní hodnoty pro výpočet tepelného výkonu gasifikátoru-pára

Hodnota c_p (měrná tepelná kapacita), vychází z přibližného odhadu, že produktový plyn, by mohl mít přibližně podobnou hodnotu jako zemní plyn. Hodnota je ovlivněna teplotou. Kde hodnota je uvažovaná spíše k vyšší teplotě, jelikož při vyšší teplotě bude plyn opouštět generátor. Zároveň je zapotřebí zohlednit, že v plynu je i nechtěná tuhá fáze v menším množství, která zvýší nepatrně hodnotu měrné tepelné kapacity. [30, 31, 32]

Výpočet tepelného výkonu Q [W]:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot h_r \quad (5.3.6.1)$$

$$Q = \frac{1805}{3600} \cdot 1,7 \cdot (850 - 20) + \frac{1805}{3600} \cdot \frac{5}{3600} \cdot 1000 = 708,16 \text{ kW} \quad (5.3.6.2)$$

Tepelná bilance výměníku tepla W-141:

Vstupní hodnoty:

| | | |
|---------------------|---------|--------|
| Vstupní hodnoty: | | |
| vstupující teplota | 850 | °C |
| vystupující teplota | 40 | °C |
| c_p | 1,29 | Kj/kgK |
| hm. tok biomasy | 1572,52 | kg/h |
| reakční teplo | 2,24 | MJ/kg |

Tabulka 39 - Vstupní hodnoty pro výpočet tepelného výkonu výměníku tepla-pára

Hodnota c_p (měrná tepelná kapacita), vychází z přibližného odhadu, že produktový plyn, by mohl mít přibližně podobnou hodnotu jako zemní plyn. Hodnota je ovlivněna teplotou. Kde hodnota je uvažovaná spíše k nižší teplotě, jelikož při nižší teplotě bude dále plyn zpracováván. Zároveň je zapotřebí zohlednit, že v plynu je i nechtěná tuhá fáze v menším množství, která zvýší nepatrně hodnotu měrné tepelné kapacity. [30, 31, 32]

Výpočet tepelného výkonu Q [W]:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot h_r \quad (5.3.6.3)$$

$$Q = \frac{1572,52}{3600} \cdot 1,29 \cdot (850 - 40) + \frac{1572,52}{3600} \cdot \frac{2,24}{3600} \cdot 1000 = 456,69 \text{ kW} \quad (5.3.6.4)$$

Celková tepelná náročnost procesu je součet tepelného výkonu gasifikátoru a výměníku tepla, tedy 1 164,85 kW.

Na základě hmotnostní a energetické bilance, bylo možné dimenzovat jednotlivá zařízení, určit a vypočítat ekonomickou část pro zplyňování.

5.3.7 Určení cen zařízení

Kvalifikovaný odhad cen pro některá procesní zařízení a jejich výpočet je brán stejně jako pro proces zplyňování za pomoci media vzduchu z knihy: Chemical Engineering design – Principles, Practice ad Economics of Plant and Process Design. Od Towler Gavin, Sinnott Ray (2013). [23]

Pro výpočet cen, kniha uvádí vztah:

$$C_e = a + b \cdot S^n \quad (5.3.7.1)$$

Kde: C_e je výsledný cena v [USD]

a je koeficient [USD]

b je koeficient [USD]

n je index [-]

S je rozměrový parametr [jednotka dle procesního zařízení]

Pro přepočítání cen na CZK je uvažován kurz: 1 USD = 24 CZK

5.3.7.1 Výpočty cen jednotlivých zařízení

Zásobník biomasy B-111

Zásobník biomasy je dimenzován na 2 m³, tedy tak, aby zabezpečil plynulý proces zplyňování na 1,3 hodiny. Je tedy jistota, že během obědové přestávky nebo řešení jiné práce zaměstnancem, je dostatek času, než bude potřeba opět zaplnit zásobník biomasou.

| a [USD] | b [USD] | S [m ³] | n [-] | Cena [USD] | Cena [CZK] | Zaokrouhlení [CZK] |
|-----------|-----------|-----------------------|---------|------------|------------|--------------------|
| 5 800 | 1 600 | 2 | 0,7 | 8 399,21 | 201 580,98 | 205 000 |

Tabulka 40 - Hodnoty pro výpočet ceny zásobníku biomasy B-111

Šnekový dopravník H-112

Šnekový dopravník je dimenzován na vzdálenost 5 m, což je dostatečná vzdálenost zásobníku biomasy od gasifikátoru, z kterého sálá teplo, aby nedošlo ke vzplanutí biomasy v zásobníku. Zároveň, šnekový dopravník je nejvhodnějším dopravníkem, pro zplyňovací proces, vzhledem k vysoké teplotě v gasifikátoru.

| a [USD] | b [USD] | S [m] | n [-] | Cena [USD] | Cena [CZK] | Zaokrouhlení [CZK] |
|-----------|-----------|---------|---------|------------|-------------|--------------------|
| 46 000 | 1 320 | 5 | 1 | 52 600,0 | 1 262 400,0 | 1 270 000 |

Tabulka 41 - Hodnoty pro výpočet ceny šnekového dopravníku H-112

Zplyňovací generátor s fluidním ložem (gasifikátor) D-121

Zplyňovací generátor s fluidním ložem (gasifikátor) je dimenzován na 100 m³, velikost gasifikátoru je určena tak, že bylo vyhledáno gasifikátor pro biomasu a upravená velikost pro požadované množství zpracovávané dřevní štěpky. Tedy:

$$\dot{V}_1 = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{1000}{650} \cong 1,54 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (5.3.7.1.1)$$

Požadovaný objem pro biomasy (dřevní štěpky) za hodinu. Doba zdržení bude maximálně do 5 minut. Tedy, požadovaný objem pro dřevní štěpku bude:

$$V_1 = \frac{1,54}{12} \cong 0,13 \text{ [m}^3\text{]} \quad (5.3.7.1.2)$$

$$\dot{V}_2 = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{805}{0,6} \cong 1\,342 \text{ [} \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{]} \quad (5.3.7.1.3)$$

Požadovaný objem pro páru za hodinu. Doba zdržení bude maximálně do 5 minut. Tedy, požadovaný objem pro páru bude:

$$V_2 = \frac{1\,342}{12} \cong 111,84 \text{ [m}^3\text{]} \quad (5.3.7.1.4)$$

Odhadovaný objem pro fluidní vrstvu činí max 50 m³. K tomu uvažují prostor pro lože a další technické prvky max 15 m³. Celkový objem je součtem všech dílčích objemů:

$$V_c = V_1 + V_2 + V_f + V_p = 0,13 + 111,83 + 50 + 15 \cong 177 \text{ [m}^3\text{]} \quad (5.3.7.1.5)$$

Po započtení rezervního prostoru je vypočteno celkový objem pro gasifikátor na 200 m³.

| <i>a [USD]</i> | <i>b [USD]</i> | <i>S [m³]</i> | <i>n [-]</i> | <i>Cena [USD]</i> | <i>Cena [CZK]</i> | <i>Zaokrouhlení [CZK]</i> |
|----------------|----------------|--------------------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 61500 | 32 500 | 200 | 0,8 | 2 314 220,7 | 55 541 297,7 | 55 550 000 |

Tabulka 42 - Hodnoty pro výpočet ceny zplyňovacího generátoru s fluidním ložem (gasifikátor) D-121

Cyklonový odlučovač F-131

Cyklonový odlučovač je dimenzován podle produkovaného plynu. Objem produkovaného plynu a produkovaných tuhých částic je 1805 m³/h, tedy 0,50 m³/s.

| <i>a [USD]</i> | <i>b [USD]</i> | <i>S [m³/s]</i> | <i>n [-]</i> | <i>Cena [USD]</i> | <i>Cena [CZK]</i> | <i>Zaokrouhlení [CZK]</i> |
|----------------|----------------|----------------------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 128 000 | 89 000 | 0,50 | 0,5 | 191 019,85 | 4 584 476,4 | 4 600 000 |

Tabulka 43 - Hodnoty pro výpočet ceny cyklonového odlučovače F-131

Výměník tepla W-141

Výměník tepla je dimenzován podle teplosměnné plochy, která je zapotřebí, aby studená voda dostatečně ochladila teplý produktový plyn.

| Vstupní hodnoty pro výpočet VT | | |
|--------------------------------|---------|-------------------|
| Veličina | hodnota | Jednotky |
| Průtok | 1624,17 | m ³ /h |
| c _p | 1150 | J/kg/K |
| T _{vstup} | 850 | °C |
| T _{výstup} | 40 | °C |

Tabulka 44 - Vstupní hodnoty pro výpočet VT

Hodnota c_p (měrná tepelná kapacita) [30, 31, 32]

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{vstup} - T_{výstup}) = \frac{1624,17}{3600} \cdot 1150 \cdot (850 - 40) \cong 420\,254 \text{ [W]} \quad (5.3.7.1.6)$$

| Vstupní hodnoty pro výpočet VT | | |
|--------------------------------|---------|----------|
| Veličina | hodnota | Jednotky |
| c _p | 4180 | J/kg/K |
| T _{v vstup} | 20 | °C |
| T _{v výstup} | 40 | °C |

Tabulka 45 - Vstupní hodnoty studené vody pro výpočet VT

Hodnota c_p (měrná tepelná kapacita) [30, 31, 32]

$$\dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T = \dot{m}_v \cdot c_{pv} \cdot \Delta T_v \quad (5.3.7.1.7)$$

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T}{c_{pv} \cdot \Delta T_v} = \frac{1624,17/3600 \cdot 1150 \cdot (850-40)}{4180 \cdot (40-20)} = 5,03 \left[\frac{l}{s} \right] \cong 5,03 \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (5.3.7.1.8)$$

Tímto je zjištěný potřebný průtok pro chlazení produktového plynu na 40 °C

Pro výpočet teplosměnné plochy VT, je zapotřebí znát ΔT_{ln}

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_{vstup} - T_{výstup}) - (T_{vvstup} - T_{vvýstup})}{\ln \frac{(T_{vstup} - T_{výstup})}{(T_{vvstup} - T_{vvýstup})}} = \frac{(850-40) - (40-20)}{\ln \frac{(850-40)}{(40-20)}} = 213,4 \quad (5.3.7.1.9)$$

$$S = \frac{Q}{k \cdot \Delta T_{ln}} = \frac{420\,254}{10 \cdot 213,4} \cong 197 \text{ [m}^2\text{]} \quad (5.3.7.1.10)$$

Hodnota $k = 10 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$ součinitele prostupu tepla vztažená na teplosměnnou plochu, jedná se o odhad pro VT voda-plyn (Šesták J., Rieger F., 1998).

Tímto výpočtem je vypočítaná potřebná teplosměnná plocha pro VT, aby ochladil produktový plyn z 850 °C na 40 °C, při průtoku 5,03 l/s.

| <i>a [USD]</i> | <i>b [USD]</i> | <i>S [m²]</i> | <i>n [-]</i> | <i>Cena [USD]</i> | <i>Cena [CZK]</i> | <i>Zaokrouhlení [CZK]</i> |
|----------------|----------------|--------------------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 28 000 | 54 | 182 | 1,2 | 55 827,84 | 1 339 868,05 | 1 345 000 |

Tabulka 46 - Hodnoty pro výpočet ceny VT W-141

Kondenzátor B-142

Kondenzátor je dimenzován na 110 m³, tedy tak, aby produktový plyn, při maximálním zdržení 5 minut, probublal skrze vodu a zároveň ochlazená část zkondenzovala do separační vody.

| <i>a [USD]</i> | <i>b [USD]</i> | <i>S [m³]</i> | <i>n [-]</i> | <i>Cena [USD]</i> | <i>Cena [CZK]</i> | <i>Zaokrouhlení [CZK]</i> |
|----------------|----------------|--------------------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 5 800 | 1 600 | 110 | 0,7 | 48 763,031 | 1 170 312,62 | 1 180 000 |

Tabulka 47 - Hodnoty pro výpočet ceny zásobníku biomasy B-111

Dmychadlo V-152

Dmychadlo, který žene produktový plyn z gasifikátoru, je dimenzováno na potřebný průtok, který musí dopravit. Vstupní hodnotou je 1572,52 kg/h plynu o hustotě 1,2 kg/m³, tedy po přepočtu na objem:

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{1572,52}{1,2} = 1311 \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (5.3.7.1.11)$$

| <i>a [USD]</i> | <i>b [USD]</i> | <i>S [m³/h]</i> | <i>n [-]</i> | <i>Cena [USD]</i> | <i>Cena [CZK]</i> | <i>Zaokrouhlení [CZK]</i> |
|----------------|----------------|----------------------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 4 450 | 57 | 1 311 | 0,8 | 22 231,03 | 533 544,81 | 535 000 |

Tabulka 48 - Hodnoty pro výpočet ceny dmychadla V-152

Čerpadlo P-171

Čerpadlo je dimenzováno na průtok vody, který je třeba hnán z VT. Průtok je již spočítán, z výpočtů VT.

| <i>a [USD]</i> | <i>b [USD]</i> | <i>S [l/s]</i> | <i>n [-]</i> | <i>Cena [USD]</i> | <i>Cena [CZK]</i> | <i>Zaokrouhlení [CZK]</i> |
|----------------|----------------|----------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 8 000 | 240 | 5,03 | 0,9 | 9 027,12 | 216 650,95 | 220 000 |

Tabulka 49 - Hodnoty pro výpočet ceny čerpadla P-171

Zásobník popelovin B-181

Zásobník popelovin je dimenzován na objem tuhé fáze (popeloviny, dehet atd.), který je potřeba dočasně uskladnit. Po naplnění zásobníku popelovin, je nutné vyvezení odpadu. Uvažováno, objem korby nákladního auta je maximálně 7,5 m³. Tedy na tuto hodnotu je dimenzován zásobník popelovin.

| <i>a [USD]</i> | <i>b [USD]</i> | <i>S [m³]</i> | <i>n [-]</i> | <i>Cena [USD]</i> | <i>Cena [CZK]</i> | <i>Zaokrouhlení [CZK]</i> |
|----------------|----------------|--------------------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 5 800 | 1 600 | 7,5 | 0,7 | 12 356,36 | 296 552,67 | 300 000 |

Tabulka 50 - Hodnoty pro výpočet ceny zásobníku popelovin B-161 a B-181

Celková cena procesních zařízení (aparátů), potřebné pro hlavní proud zplyňování dřevní štěpky, je součtem všech vypočítaných cen procesních zařízení. K celkové ceně procesních zařízení, je zapotřebí uvažovat cenu potrubí, která je stanovena z celkové ceny procesních zařízení a vynásobena koeficientem pro potrubí, tedy hodnotou 0,3. Dále je nutné připočítat montážní materiál a samotnou montáž. Zde je stejný princip. Jedná se o koeficient 0,1 z celkové hodnoty procesních zařízení. Celkovou cenu technologie je zapotřebí násobit koeficientem 1,5, který zohledňuje použití legované oceli, pro vyšší teploty, které v tomto procesu jsou. Bez této hodnoty by suma odpovídala pouze uhlíkové oceli, která je použitelná do 250 °C. Hodnoty jsou získané z knihy: Chemical Engineering design – Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design. Od Towler Gavin, Sinnott Ray (2013). [33]

| Položka | cena za kus (zaokr.) | kusů | cena v Kč |
|---------------------------------------|----------------------|------|-----------------------|
| Šnekový dopravník | 1 270 000 Kč | 1 | 1 270 000 Kč |
| Zásobník biomasy | 205 000 Kč | 1 | 205 000 Kč |
| Zplyňovací generátor s fluidním ložem | 55 550 000 Kč | 1 | 55 550 000 Kč |
| Cyklonový udlučovač | 4 600 000 Kč | 1 | 4 600 000 Kč |
| Tepelný výměník | 1 345 000 Kč | 1 | 1 345 000 Kč |
| Dmychadlo za separátorem | 535 000 Kč | 1 | 535 000 Kč |
| Čerpadlo | 220 000 Kč | 1 | 220 000 Kč |
| Zásobník popelovin | 300 000 Kč | 1 | 300 000 Kč |
| Kondenzátor | 1 180 000 Kč | 1 | 1 180 000 Kč |
| Potrubí (kolena, rovné kusy atd.) | | | 19 561 500 Kč |
| Montážní materiál a montáž | | | 6 520 500 Kč |
| Celkem technologie | | | 136 930 500 Kč |

Tabulka 51 - Celkové náklady na procesní aparáty (zařízení)

Do celkové sumy, není zahrnut VT W-172, který je součástí PFD schéma (příloha P2), jelikož není uvažován jako součástí hlavního zplyňovacího proudu. Je zde jen

znázorněn, jak by se dále zchlazovala voda z VT W-141, při uzavřeném oběhu studené vody pro chlazení.

Kvalifikační odhad celkové sumy, pro hlavní procesní aparáty (zařízení), činí 107 160 000 Kč. S tím že, chyba může odhadem činit $\pm 15\div 30\%$. Procentuální odhad je získán z knihy: Chemical Engineering design – Principles, Practice ad Economics of Plant and Process Design. Od Towler Gavin, Sinnott Ray (2013). [33]

5.3.8 Stavba

Mezi tzv. fixní kapitálové investice, kam se řadí již vypočítané procesní aparáty (zařízení), patří také náklady na stavbu. Základem je vhodné umístění celkového procesu, aby se nezvyšovala cena dovozu. Zároveň, je vhodnější, pořizovat již postavenou budovu/halu, v které proběhne rekonstrukce a úpravy pro daný proces, jelikož není třeba zařizovat, veškerá a často zdlouhavá povolení na stavbu, vhodnost procesu na okolí, řešení přírodních cest a zdrojů.

Pro proces zplyňování za pomoci media páry, je uvažovaná naprosto stejná lokalita, budova, cena budovy a rekonstrukce, jako v případě procesu zplyňování za pomoci media vzduchu. (viz. kapitola 6.2.8.)

Prodejní cena stavby a pozemku tedy činí 30 milionů Kč. Odhadovaná cena na úpravy a rekonstrukce pro zplyňovací jednotku, je stanovena na 5 milionů Kč.

5.3.9 Celkové fixní kapitálové investice

Celkové fixní kapitálové investice, jsou součtem jednotlivých fixních investic.

| Položka | | kusů | cena v Kč |
|---|--|------|-----------------------|
| Budovy a stavby | | | 35 000 000 Kč |
| Technologie | | | 136 931 000 Kč |
| Projekční a inženýrská činnost | | | 14 193 000 Kč |
| Projektová rezerva | | | 9 306 000 Kč |
| Celkové fixní kapitálové investice | | | 195 430 000 Kč |

Tabulka 52 - Celkové fixní kapitálové investice

Projekční a inženýrská činnost je vypočítaná jako suna ceny technologie (celková cena procesních aparátů) a cena na rekonstrukce a úpravy haly, násobená koeficientem 0,1.

$$C_{projekční} = (c_{budovy} + c_{technologie}) \cdot 0,1 = (35\,000\,000 + 136\,931\,000) \cdot 0,1 \cong 14\,193\,000 \text{ Kč} \quad (5.3.9.1)$$

Projektová rezerva je počítaná jako součet ceny za budovy a stavby, technologii a projekční a inženýrskou činnost, násobená koeficientem 0,05.

$$C_{rezerva} = (c_{budovy} + c_{technologie} + c_{projekční}) \cdot 0,05 = (35\,000\,000 + 136\,931\,000 + 14\,193\,000) \cdot 0,05 \cong 9\,306\,000 \text{ Kč} \quad (5.3.9.2)$$

Celkové fixní kapitálové investice činí 195 430 000 Kč i s rezervou.

5.3.10 Splacení úvěru

Uvažuje-li se, že půjčku si bere věrohodná firma, u banky s rozumnými úroky, na částku 150 milionů Kč, tak úrok by mohl činit 9 % p.a., dle legislativy na dobu 10 let. Následná tabulka ukazuje postupné splacení úvěru.

| | | | | |
|----------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| úvěr | 170 000 000 Kč | | | |
| úroková sazba | 9,00 % p.a. | | | |
| doba úročení | 10,00 roky | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | pravidelná splátka bance | | splátka úvěru (vlastní) | |
| rok | anuita | splátka úroku | splátka jistiny | zůstatek půjčky |
| 1 | 26 489 415,28 Kč | 15 300 000,00 Kč | 11 189 415,28 Kč | 158 810 584,72 Kč |
| 2 | 26 489 415,28 Kč | 14 292 952,62 Kč | 12 196 462,66 Kč | 146 614 122,06 Kč |
| 3 | 26 489 415,28 Kč | 13 195 270,98 Kč | 13 294 144,30 Kč | 133 319 977,76 Kč |
| 4 | 26 489 415,28 Kč | 11 998 798,00 Kč | 14 490 617,29 Kč | 118 829 360,47 Kč |
| 5 | 26 489 415,28 Kč | 10 694 642,44 Kč | 15 794 772,84 Kč | 103 034 587,63 Kč |
| 6 | 26 489 415,28 Kč | 9 273 112,89 Kč | 17 216 302,40 Kč | 85 818 285,23 Kč |
| 7 | 26 489 415,28 Kč | 7 723 645,67 Kč | 18 765 769,61 Kč | 67 052 515,61 Kč |
| 8 | 26 489 415,28 Kč | 6 034 726,41 Kč | 20 454 688,88 Kč | 46 597 826,74 Kč |
| 9 | 26 489 415,28 Kč | 4 193 804,41 Kč | 22 295 610,88 Kč | 24 302 215,86 Kč |
| 10 | 26 489 415,28 Kč | 2 187 199,43 Kč | 24 302 215,86 Kč | 0,00 Kč |

Tabulka 53 - Splacení úvěru

5.3.11 Roční prodejní cena plynu

Uvažuje-li se, že množství zpracovávané biomasy činí 1000 kg/h, s párou 805 kg/h, výsledný produktový plyn činí 1572,52 kg/h, dále je uvažovaný třísměnný provoz po osmi hodinách, po dobu 360 dní v roce, kde 5 dní je vyhrazeno na kompletní revizi a čištění, získá se zplyněním biomasy s příměsí páry jako media za rok 13 586 538 kg, tedy 11 814 381,08 m³.

Uvažuje se, že plyn by byl stejně kvalitní jako zemní plyn, což tomu tak není. Tak cena za jeden meter krychlový, bude v optimistickém pohledu 6,5 Kč, na rozdíl od procesu zplyňování s mediem vzduchu, kde je uvažováno s cenou 6 Kč. Cena je zvolena

o 0,5 Kč vyšší, jelikož se jedná o kvalitnější plyn, díky svému složení. Jedná se o modelový případ, aby byla ukázaná změna při lepším složení. Kvalita plynu, vlivem zplyňování, nestejnorodostí vstupní dřevní štěpky rozhodně nižší, než má zemní plyn. Pro model, který představuje tato DP, uvažuje se, že kvalita je stejná a výkupní cena bude také bez uvažované distribuce a dalších potřebných prvků, které jsou zahrnuty při prodeji pro odběratele.

Cena zemního plynu na burze činí 1,86 Kč/m³, ale zde není uvažována distribuce a další potřebné prvky, které se zahrnují do ceny pro uživatele. Cena zemního plynu od Jihočeské plynárenské činí 1270 Kč/MWh, kde 1 m³ = 10,5 kWh. Z čeho lze dopočítat cenu zemního plynu za 1 m³. [35]

$$C_{ZP} = \frac{\text{cena za } 1MWh \cdot 0,0105 MWh (1m^3)}{1 MWh} = \frac{1270 \cdot 0,0105}{1} = 13,34 \text{ Kč} \quad (5.3.11.1)$$

Tedy jak bylo zmíněno, odečte-li se od ceny 13,34 Kč cena za distribuci a další prvky, bude cena přibližně poloviční. Proto je uvažovaná cena produktového plynu 6,5 Kč/m³.

Vyprodukované množství 11 814 381,08 m³, při ceně 6,5 Kč/m³, se získá 76 793 477 Kč.

5.3.12 Přímé provozní náklady

Jedná se o náklady přímo úměrné množství vyprodukovaného produktu. Tedy o suroviny, energie, údržbu, obsluhu a rezervu.

5.3.12.1 Suroviny

Základní surovinou je biomasa (dřevní štěpka). V okolí Českých Budějovic, tedy v blízkosti Šumavy, se jedná o oblast bohatou na dřevní porost. Zároveň se jedná o oblast, kde se zpracovává dřevo, a tedy je zde velké množství dřevního odpadu. V pilách a truhlářství, se jedná převážně až o 55 % dřevního odpadu, ze vstupní suroviny na zpracování konečného produktu. Tedy jedná se oblast, kde je dlouhodobě zaručeno velké množství odpadní dřevní štěpky (dřevního odpadu) pro zplyňování, tedy naprosto stejné podmínky jako v procesu zplyňování za pomoci media vzduchu, aby výsledky byli co nejvíce srovnatelné.

Výkupní cena palivového dřeva je 1 200 Kč/m³, tedy po přepočtu při hustotě dřeva 650 kg/m³, se jedná přibližně o 1,9 Kč/kg. Zároveň se jedná o oblast, nakaženou

kůrovcem, tedy lze uvažovat, že cena může klesat, jelikož dřevo napadené kůrovcem není vhodné pro dřevařský průmysl.

| | | |
|-------------------------|--------|--------------|
| biomasa (dřevní štěpka) | kg/rok | 8 640 000 |
| cena - biomasy | Kč/kg | 1,9 |
| Cena za rok | Kč | 16 416 000,0 |

Tabulka 54 - Cena biomasy

Další surovinou, dalo by se říci, je pára. Celkové množství pro zplyňování za rok je 11 753 000 m³. Pára je dopravovaná potrubím z místní plynárenské.

| | | |
|--------------|---------------------|------------------|
| pára | m ³ /rok | 11 753 000 |
| cena - páry | Kč/m ³ | 0,9 |
| Celková cena | Kč | 10 812 760,00 Kč |

Tabulka 55 - Cena páry

Poslední surovinou je voda na chlazení VT. Jelikož se jedná o uzavřený okruh, postačí 100 l vody na rok. Jednou ročně, se voda vymění. Cena svodného a stočného činí okolo 0,07 Kč/l vody. Jedná se tedy o zanedbatelnou položku.

| | | |
|--------------|-------|---------|
| voda | l/rok | 100,000 |
| cena - vody | Kč/l | 0,070 |
| Celková cena | Kč | 7 |

Tabulka 56 - Cena vody

Energetická náročnost, tedy elektrická energie je vypočtena v MS Excel příloha (P6), na 1,2 MW. I s rezervou je uvažováno na 1,3 MW. Cena elektřiny včetně jističů, v rámci vysokého tarifu činí 2,1 Kč/kWh.

| | | |
|------------------|--------|-------|
| elektřina | kW | 1 300 |
| Cena - elektřina | Kč/kWh | 2,10 |
| Celková cena | Kč | 2 730 |

Tabulka 57- Cena elektřiny

Spotřební materiál, tedy chemikálie na čištění jsou vypočteny na m³, tedy je uvažováno 0,005 Kč/m³. Náklady na údržbu, jsou vypočteny koeficientem 0,8 z fixní kapitálové investice.

Osobní náklady, tedy náklady na lidský personál, který obsluhuje zplyňovací jednotku jsou přizpůsobené hrubé mzdě v okolí Českých Budějovic. Uvažuje se stejný počet lidí, mzdy a pracovní doba jako u procesu zplyňování za pomoci media vzduchu.

Je uvažováno s jedním vedoucím, který řídí veškerý průběh zplyňovací jednotky. Ovšem stačí, aby byl přítomen jen na jedné směně, jelikož veškeré papírování, kontrolu, podepsání faktur a dalších důležitých lejšter stihne za jednu osmi hodinovou směnu. Ovšem musí být, pro případ nouze na mobilním zařízení. Dále ve zplyňovací lince pracují tři řadoví zaměstnanci, kteří mají na starost, ovládací panel, kontrolu zplyňovací jednotky, doplňování dřevní štěpky do zásobníku biomasy atd.

| Osobní náklady | | | |
|----------------|---|----|--------|
| | počet vedoucích | ks | 1 |
| | počet ostatních pracovníků - obsluhy | ks | 3 |
| | Počet směn | ks | 3 |
| | Průměrná hrubá mzda - vedoucí | Kč | 40 000 |
| | Průměrná hrubá mzda - ostatní personál, obsluha | Kč | 30 000 |

Tabulka 58 - Osobní náklady na obsluhu

5.3.13 Nepřímé provozní náklady

Tyto náklady jsou nepřímo úměrné množství vyprodukovaného produktu. Jedná se o pojištění, úroky, podíl z režie, rezervu, daně a odpisy.

Rezerva je stanovena 2 % z přímých provozních nákladů.

Podíl na režii je stanoven na 40 % (z nákladů na obsluhu a dozor a 50 % nákladů na údržbu).

Pojištění je stanoveno na 0,5 % z fixní kapitálové investice.

5.3.13.1 Odpisy

Odpisy byly stanoveny dle tabulky:

| | | |
|---|------|-------------|
| Životnost projektu (= doba provozování) | roků | 35 |
| Bankovní úvěr | Kč | 170 000 000 |
| Doba úročení | roků | 10,00 |
| Roční úroková sazba úvěru (p.a.) | % | 9,00 |
| doba odepisování - stavby | roků | 20 |
| odpisy v prvním roce | % | 1,4 |
| odpisy v dalších letech | % | 3,4 |
| investice - stavby = vstupní cena pro výpočet odpisů | Kč | 35 000 000 |
| doba odepisování - technologie | roků | 5 |
| odpisy v prvním roce | % | 11,0 |
| odpisy v dalších letech | % | 22,3 |
| investice - technologie = vstupní cena pro výpočet odpisů | Kč | 195 430 000 |
| Daň z příjmu | % | 19 |

Tabulka 59 - Odpisy

Náklady na distribuci činí 2 % z přímých provozních nákladů.

Pro přehlednost a celkové sumy jednotlivých nákladů a zisků je vytvořena tabulka: *Provozní náklady, zdanitelné náklady, zisk a daně.*

Pokud jsou vyčísleny všechny příjmy a výdaje, je možné určit toky hotovosti zplyňovacího projektu, doba návratnosti, cashflow (příloha P6).

| | | |
|---|---------------|-------------------|
| Příjmy z prodeje plynu - tržby | Kč/rok | 76 793 477 |
| Provozní náklady bez odpisů a daně | Kč/rok | 65 242 023 |
| Přímé provozní náklady | Kč/rok | 59 907 836 |
| Suroviny | Kč/rok | 27 228 767 |
| Energie | Kč/rok | 23 587 200 |
| Osobní náklady | Kč/rok | 6 271 200 |
| Dozor obsluhy = mistři | Kč/rok | 0 |
| Náklady na údržbu | Kč/rok | 1 563 440 |
| Spotřební materiál | Kč/rok | 59 072 |
| Rezerva | Kč/rok | 1 198 157 |
| Nepřímé provozní náklady | Kč/rok | 3 798 318 |
| Pojištění | Kč/rok | 977 150 |
| Podíl na podnikové režii | Kč/rok | 2 821 168 |
| Distribuční náklady | Kč/rok | 1 535 870 |
| Transport a distribuce | Kč/rok | 1 535 870 |
| Zdanitelné výnosy | Kč/rok | 11 551 454 |
| Odpisy investičního majetku | | |
| odpisy v 1. roce | Kč/rok | 21 987 300 |
| odpisy v roce 2 až x | Kč/rok | 44 673 175 |
| odpisy v letech x až y | Kč/rok | 1 190 000 |
| Roční zisk před zdaněním | | |
| první rok | Kč/rok | -10 435 846 |
| rok 2 až x | Kč/rok | -33 121 721 |
| rok x až y | Kč/rok | 10 361 454 |
| rok y až konec | Kč/rok | 11 551 454 |
| Daň z příjmu | | |
| první rok | Kč/rok | -1 982 811 |
| rok 2 až x | Kč/rok | -6 293 127 |
| rok x až y | Kč/rok | 1 968 676 |
| rok y až konec | Kč/rok | 2 194 776 |

Tabulka 60 - Provozní náklady, zdanitelné náklady, zisk a daně

5.3.14 Rentabilita (ziskovost)

Hlavním cílem této diplomové práce je ověřit či vyvrátit, zda je proces zplyňování, při takto navržených parametrech (uvažování hlavního proudu, bez předúprav biomasy a následného čištění plynu), ziskovost zplyňovací jednotky. Ziskovost ukazuje například doba návratnosti, ROI neboli Return on investment (návratnost investice) a DCFRR neboli Discounted Cash-Flow Rate of Return (diskontovaná míra návratnosti toku hotovosti). [36]

5.3.14.1 Doba návratnosti

Stejně jako v případě zplyňování za pomoci media vzduchu, i zde se uvažuje doba návratnosti, jako hlavní ukazatel ziskovosti, díky své přehlednosti. Další detailní typy ukazatelů ziskovosti jsou v příloze (P6).

| | | | |
|-----------------|--|------------------------|--------------------------|
| 35 let | | <i>doba životnosti</i> | |
| 8% | | <i>diskont</i> | |
| 195 430 tis. Kč | | <i>investice</i> | |
| 19 let | | <i>PDN</i> | |
| 17 let | | <i>RDN</i> | (PŘECHOD DO Klad. čísel) |
| -55 993 tis. Kč | | <i>NPV</i> | |
| 11% | | <i>IRR</i> | |
| 12% | | <i>IRR vlastní</i> | |

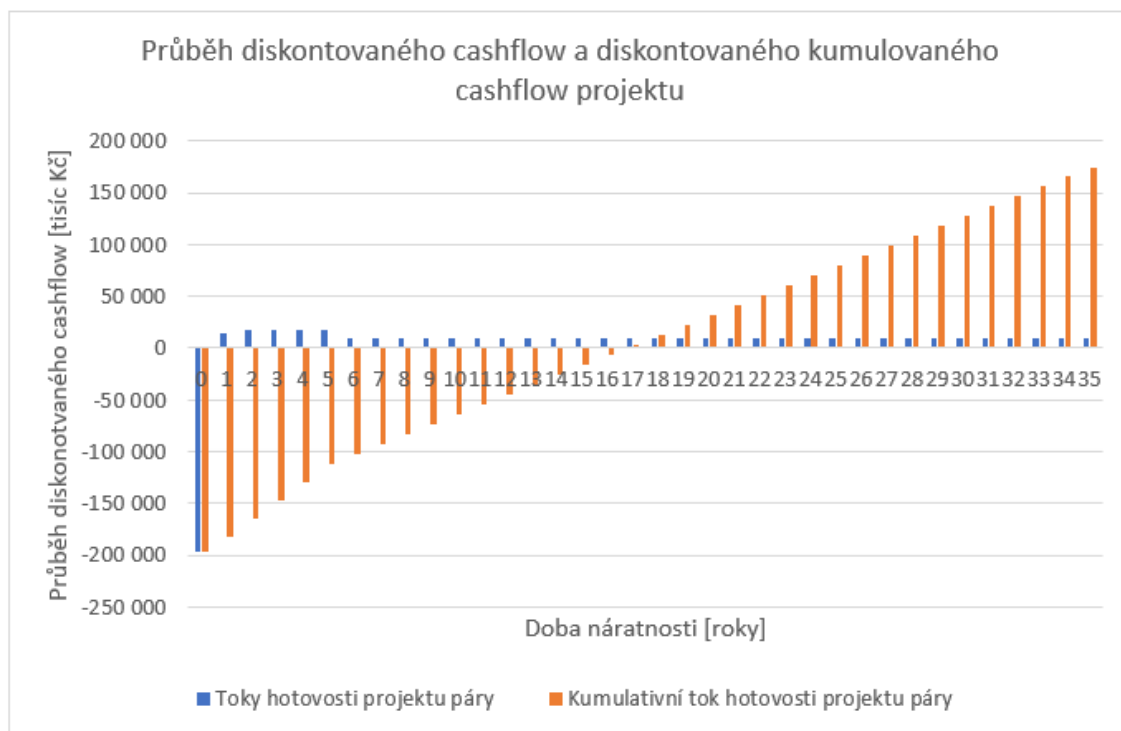
Tabulka 61 - Typy ziskovosti

Doba návratnosti se dá určit ze vzorce

$$DN = \frac{INV}{CF} \quad (5.3.14.1.1)$$

kde DN vyjadřuje dobu návratnosti, INV je investovaný kapitál, CF jsou toky hotovosti v projektu. [36]

Dobu návratnosti lze určit i grafem, který ukazuje závislost kumulovaného CF na době životnosti.



Graf 6 - Průběh diskontovaného cashflow a diskontovaného kumulovaného cashflow projektu

5.4 Porovnání zplyňování s médiem vzduch vs. pára

Základním bodem porovnání mezi procesy zplyňování s médiem vzduch a médiem pára, je rozhodnutí, který proces je výhodnější jak z pohledu bilancí, tak z pohledu rentability. Zároveň je zde přehlednější porovnání ve vzájemných tabulkách a grafech, které dopomůže k finálnímu rozhodnutí o rentabilitě.

5.4.1 PFD

PFD schémata jsou téměř stejná, jediným rozdílem je sekundární separace tuhých částic. Pro medium vzduch je sekundární separace uvažovaná v separátoru částic F-151, kde tuhá fáze putuje proudem č.6 do zásobníku popelovin B-161. Pro medium pára je sekundární separace uvažovaná skrze vodu v kondenzátoru B-141, kde zároveň se kondenzují uhlovodíky a část plynu, které jsou odváděny v proudu č.5. Pro přehledné porovnání jsou uvedena schémata v přílohách (P1) a (P2).

5.4.2 Vstupní suroviny a výstupní produkty

Vstupní surovinou pro oba procesy zplyňování, je biomasa, konkrétně dřevní štěpka o hmotnosti 1000 kg/h s vlhkostí 15 %, hustotou 650 kg/m³, při okolní teplotě 20 °C. Následné porovnání množství medií a výstupních produktů je pro přehlednost uvedeno v tabulkách.

| VSTUP | Množství [kg/h] | Množství [%] |
|------------------------|-----------------|--------------|
| Dřevní štěpka | 1000 | 75,0 |
| Vzduch | 333,3 | 25,0 |
| suma | 1333,3 | 100 |
| VÝSTUP | Množství [kg/h] | Množství [%] |
| Produktový plyn | 1168,2 | 87,62 |
| Tuhá fáze | 153,3 | 11,50 |
| Uhlovodíky + kondenzát | 11,8 | 0,89 |
| suma | 1333,3 | 100 |
| VÝSTUP PLYNU | Množství [kg/h] | Množství [%] |
| N ₂ | 528,0 | 45,2 |
| CO ₂ | 250,5 | 21,4 |
| H ₂ | 159,3 | 13,6 |
| vodní PÁRY | 106,0 | 9,1 |
| CO | 87,0 | 7,5 |
| CH ₄ | 25,7 | 2,2 |
| zbytek | 11,7 | 1,0 |
| suma | 1168,2 | 100 |

| VSTUP | Množství [kg/h] | Množství [%] |
|------------------------|-----------------|--------------|
| Dřevní štěpka | 1000 | 55,4 |
| Pára | 805 | 44,6 |
| suma | 1805 | 100 |
| VÝSTUP | Množství [kg/h] | Množství [%] |
| Produktový plyn | 1572,5 | 87,12 |
| Tuhá fáze | 216,6 | 12 |
| Uhlovodíky + kondenzát | 15,9 | 0,88 |
| suma | 1805 | 100 |
| VÝSTUP PLYNU | Množství [kg/h] | Množství [%] |
| H ₂ | 534,7 | 34 |
| CO | 518,9 | 33 |
| CO ₂ | 290,9 | 18,5 |
| CH ₄ | 212,3 | 13,5 |
| zbytek | 15,7 | 1 |
| suma | 1572,5 | 100 |

Tabulka 62 - Porovnání vstupních surovin a výstupních produktů

Je naprosto očividné, že pro proces zplyňování za pomoci media páry, potřebujeme větší množství media, konkrétně o 471,67 kg/h než v případě vzduchu, ale zároveň získáme o 404,3 kg/h. Na první pohled se zdá, že pára je nevýhodná, navíc když vzduch

se beze z atmosféry zdarma, ale produktový plyn za pomoci media páry má kvalitnější složení a je možné jej vykupovat za vyšší cenu. Zda je to výhodnější zatím není jisté a rozhodnutí je v kapitole ekonomického porovnání.

Hmotnostní účinnost je téměř totožná, v případě media vzduchu 87,62 % a v případě media páry 87,12 %.

5.4.3 Energetické porovnání

V případě porovnání tepelných výkonů pro gasifikátor a výměník tepla, je z tabulky vidět, že v případě media páry, se jedná o náročnější proces.

| Vzduch | | | | Pára | | | |
|------------------------------|---|--------|---------------|------------------------------|---|---------|---------------|
| Generátor | | | | Generátor | | | |
| Q | = | 523,09 | kW = 0,523 MW | Q | = | 708,16 | kW = 0,708 MW |
| Výměník tepla | | | | Výměník tepla | | | |
| Q | = | 339,27 | kW = 0,339 MW | Q | = | 456,69 | kW = 0,457 MW |
| Celkový tepelný výkon | | | | Celkový tepelný výkon | | | |
| Q | = | 862,37 | kW = 0,862 MW | Q | = | 1164,85 | kW = 1,165 MW |

Tabulka 63 - Porovnání energetických tepelných výkonů

5.4.4 Fixní náklady

Největší rozdíl určují fixní náklady na procesní zařízení (aparáty), přestože schéma jsou téměř totožné, tak aparáty mají různé rozměry a průtoky. Daná velikost nejvíce určuje rozdíl v ceně.

| VZDUCH | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------------|-----------------------|
| Položka | cena za kus (zaokr.) | kusů | cena v Kč |
| Šnekový dopravník | 1 270 000 Kč | 1 | 1 270 000 Kč |
| Zásobník biomasy | 205 000 Kč | 1 | 205 000 Kč |
| Zplyňovací generátor s fluidním ložem | 32 600 000 Kč | 1 | 32 600 000 Kč |
| Cyklonový udlučovač | 4 400 000 Kč | 2 | 8 800 000 Kč |
| Tepelný výměník | 1 190 000 Kč | 1 | 1 190 000 Kč |
| Dmychadlo za separátorem | 445 000 Kč | 1 | 445 000 Kč |
| Dmychadlo-přívod vzduchu | 233 000 Kč | 1 | 233 000 Kč |
| Čerpadlo | 212 000 Kč | 1 | 212 000 Kč |
| Zásobník popelovin | 300 000 Kč | 2 | 600 000 Kč |
| Potrubí (kolena, rovné kusy atd.) | | | 13 666 500 Kč |
| Montážní materiál a montáž | | | 4 555 500 Kč |
| Celkem technologie | | | 95 665 500 Kč |
| PÁRA | | | |
| Položka | cena za kus (zaokr.) | kusů | cena v Kč |
| Šnekový dopravník | 1 270 000 Kč | 1 | 1 270 000 Kč |
| Zásobník biomasy | 205 000 Kč | 1 | 205 000 Kč |
| Zplyňovací generátor s fluidním ložem | 55 550 000 Kč | 1 | 55 550 000 Kč |
| Cyklonový udlučovač | 4 600 000 Kč | 1 | 4 600 000 Kč |
| Tepelný výměník | 1 345 000 Kč | 1 | 1 345 000 Kč |
| Dmychadlo za separátorem | 535 000 Kč | 1 | 535 000 Kč |
| Čerpadlo | 220 000 Kč | 1 | 220 000 Kč |
| Zásobník popelovin | 300 000 Kč | 1 | 300 000 Kč |
| Kondenzátor | 1 180 000 Kč | 1 | 1 180 000 Kč |
| Potrubí (kolena, rovné kusy atd.) | | | 19 561 500 Kč |
| Montážní materiál a montáž | | | 6 520 500 Kč |
| Celkem technologie | | | 136 930 500 Kč |

Tabulka 64 - Porovnání fixních nákladů

Z tabulky je patrné, že největší rozdílnou položkou je gasifikátor (zplyňovací generátor s fluidním ložem). Cena je téměř o $\frac{3}{4}$ vyšší, jelikož se uvažuje v případě media páry 2x větší objem gasifikátoru. Dalším větším rozdílem je tepelný výměník, jelikož pro větší množství produktového plynu, který výměníkem tepla proteče za hodinu, je třeba větší teplosměnná plocha, která je o 36 m² větší. Případě media vzduchu je zapotřebí vhnět vzduch do gasifikátoru, tudíž je zde potřebné dmychadlo, které v PFD schéma pro medium pára není, jelikož je pára do gasifikátoru vhněná svým přetlakem. Posledním větším rozdílem v ceně je položka sekundárního čištění. V případě media vzduchu, je brán separátor částic, který je předdimenzován podle separátoru částic za gasifikátorem, aby byla zaručena větší rezerva. V případě media páry, je sekundární čištění uvažováno skrze kondenzátor. Cenový rozdíl v tomto případě činí více jak 3 M Kč.

V případě fixních investičních nákladů za stavbu je rozdíl nulový, jelikož se uvažuje stejná budova i lokalita pro oba možné procesy. Ale celkové fixní náklady, se již liší, a to výrazným rozdílem, přibližně 41 265 000 Kč.

| VZDUCH | | | |
|---|--|-------------|-----------------------|
| Položka | | kusů | cena v Kč |
| Budovy a stavby | | | 35 000 000 Kč |
| Technologie | | | 95 666 000 Kč |
| Projektční a inženýrská činnost | | | 10 067 000 Kč |
| Projektová rezerva | | | 7 037 000 Kč |
| Celkové fixní kapitálové investice | | | 147 770 000 Kč |
| PÁRA | | | |
| Položka | | kusů | cena v Kč |
| Budovy a stavby | | | 35 000 000 Kč |
| Technologie | | | 136 931 000 Kč |
| Projektční a inženýrská činnost | | | 14 193 000 Kč |
| Projektová rezerva | | | 9 306 000 Kč |
| Celkové fixní kapitálové investice | | | 195 430 000 Kč |

Tabulka 65 - Porovnání celkových fixních nákladů

S rozdílnou sumou za technologie (aparáty) se liší i celková cena za projekční a inženýrské činnosti a projekční rezervu, které jsou počítané násobkem koeficientu z celkové sumy za budovy, stavby a technologie.

5.4.5 Splácení úvěru

Jelikož pro proces zplyňování s médiem pára jsou vyšší cenové investice, je zapotřebí větší kapitál, který je půjčen u banky, a to konkrétně o 50 milionů Kč více. Z toho plyne, že anuita činí o 7 791 000 Kč ročně více. Druhou možností by bylo snížení anuity tak, že úvěr by byl rozložen do více let.

5.4.6 Roční prodejní cena produktového plynu

Zatím téměř všechny položky vyznívají negativně pro médium páru, ale větší produkce v jejím případě, bude mít za následek větší obnos z prodeje. Zároveň vzhledem k lepšímu složení produktového plynu pro proces zplyňování s parou, je zvolena vyšší prodejní cena o 0,5 Kč za m³.

| VZDUCH | | |
|-------------------------------|---------------|-------------------|
| Cena za 1m ³ plynu | 6 | kč/m ³ |
| Potenciální cena za rok | 52 660 424,35 | Kč |
| PÁRA | | |
| Cena za 1m ³ plynu | 6,5 | kč/m ³ |
| Potenciální cena za rok | 76 793 477,01 | Kč |

Tabulka 66 - Porovnání potenciální sumy za prodaný produktový plyn

Vzhledem k většímu objemu produktového plynu a vyšší prodejní ceně je celkový rozdíl o 24 133 000 Kč. Což může mít za následek, že proces zplyňování s mediem páry bude více rentabilní.

5.4.7 Přímé a nepřímé provozní náklady

Přímé provozní náklady se nejvíce liší v ceně media. Vzduch se odebírá z atmosféry zdarma, za to pára je distribuována jihočeskou teplárenskou, a tudíž je vykupována za 0,9 Kč/m³. Vzhledem k množství 11 753 000 m³/rok, se jedná o výraznou položku. Další výraznou položkou jsou náklady za energie, kde proces zplyňování s mediem vzduch, je o 300 kW méně energeticky náročnější. To se projeví výrazně v celkové ceně. Pro přehledné porovnání je vytvořena tabulka přímých a nepřímých provozních nákladů, kde v levém sloupci jsou uvedeny sumy pro medium vzduch a v pravém sloupci jsou uvedeny sumy pro medium pára. Jak je z tabulky patrné, ostatní položky jsou si téměř rovny, nebo rozdíly jsou zanedbatelné vzhledem k výši celkových sum.

| | | VZDUCH | PÁRA |
|---|---------------|-------------------|-------------------|
| Parametr | jednotka | hodnota | hodnota |
| Příjmy z prodeje vody - tržby | Kč/rok | 52 660 424 | 76 793 477 |
| Provozní náklady bez odpisů a daně | Kč/rok | 47 452 532 | 65 242 023 |
| Přímé provozní náklady | Kč/rok | 42 915 562 | 59 907 836 |
| Suroviny | Kč/rok | 16 416 007 | 27 228 767 |
| Energie | Kč/rok | 18 144 000 | 23 587 200 |
| Osobní náklady | Kč/rok | 6 271 200 | 6 271 200 |
| Dozor obsluhy = mistři | Kč/rok | 0 | 0 |
| Náklady na údržbu | Kč/rok | 1 182 160 | 1 563 440 |
| Spotřební materiál | Kč/rok | 43 884 | 59 072 |
| Rezerva | Kč/rok | 858 311 | 1 198 157 |
| Nepřímé provozní náklady | Kč/rok | 3 483 762 | 3 798 318 |
| Pojištění | Kč/rok | 738 850 | 977 150 |
| Podíl na podnikové režii | Kč/rok | 2 744 912 | 2 821 168 |
| Distribuční náklady | Kč/rok | 1 053 208 | 1 535 870 |
| Transport a distribuce | Kč/rok | 1 053 208 | 1 535 870 |
| Zdanitelné výnosy | Kč/rok | 5 207 892 | 11 551 454 |
| Odpisy investičního majetku | | | |
| odpisy v 1. roce | Kč/rok | 11 013 205 | 21 987 300 |
| odpisy v roce 2 až x | Kč/rok | 22 475 574 | 44 673 175 |
| odpisy v letech x až y | Kč/rok | 1 190 000 | 1 190 000 |
| Roční zisk před zdaněním | | | |
| první rok | Kč/rok | -5 805 313 | -10 435 846 |
| rok 2 až x | Kč/rok | -17 267 682 | -33 121 721 |
| rok x až y | Kč/rok | 4 017 892 | 10 361 454 |
| rok y až konec | Kč/rok | 5 207 892 | 11 551 454 |
| Daň z příjmu | | | |
| první rok | Kč/rok | -1 103 009 | -1 982 811 |
| rok 2 až x | Kč/rok | -3 280 860 | -6 293 127 |
| rok x až y | Kč/rok | 763 399 | 1 968 676 |
| rok y až konec | Kč/rok | 989 499 | 2 194 776 |

Tabulka 67 - Porovnání přímých a nepřímých provozních nákladů

5.4.8 Doba návratnosti a rentabilita

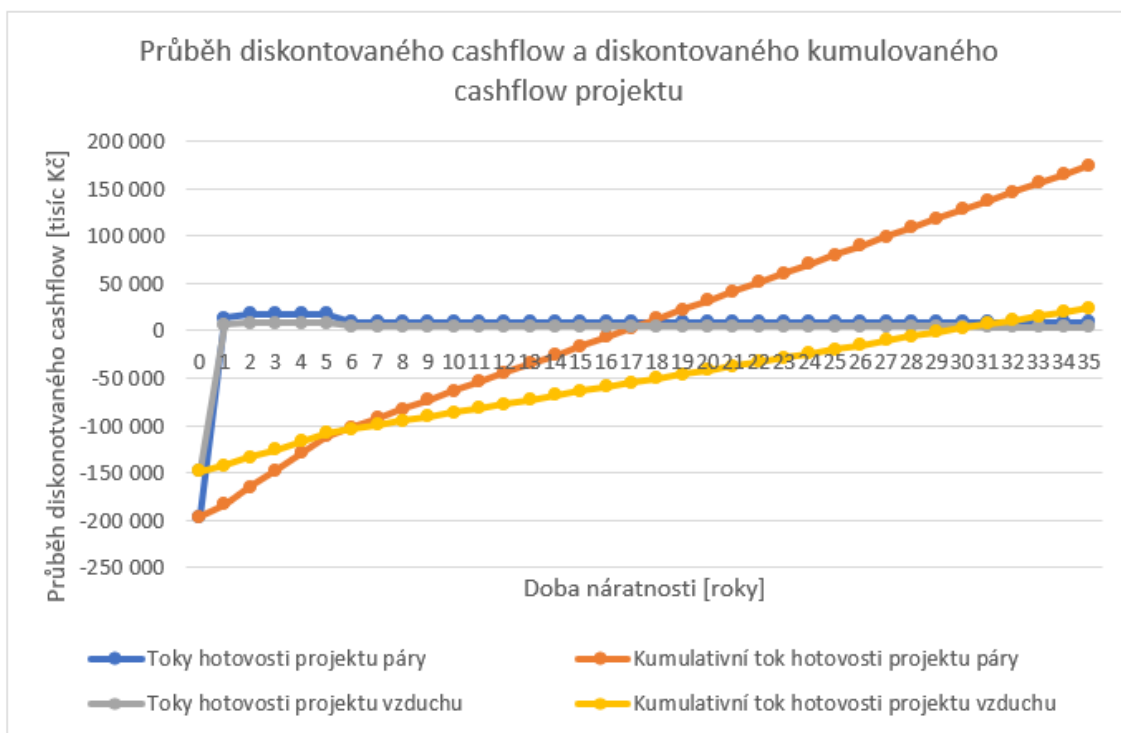
Doba návratnosti a rentabilita je porovnána v tabulce a grafu návratnosti.

| VZDUCH | PÁRA | | | | |
|---------|---------|---------|------------------------|--------------------------|--|
| 35 | 35 | let | <i>doba životnosti</i> | | |
| 8% | 8% | | <i>diskont</i> | | |
| 147 770 | 195 430 | tis. Kč | <i>investice</i> | | |
| 31 | 19 | let | <i>PDN</i> | | |
| 30 | 17 | let | <i>RDN</i> | (PŘECHOD DO KLAD. ČÍSEL) | |
| -82 755 | -55 993 | tis. Kč | <i>NPV</i> | | |

Tabulka 68 - Porovnání typů ziskovosti

Z tabulky je patrné, že vyšší cena prodáváného produktového plynu a větší objem za rok, převažuje nad vyššími investičními náklady a vyššími provozními náklady, a to tak, že doba návratnosti v případě procesu zplyňování s mediem páry je o 12 let nižší. V ideálním případě, že vše bude fungovat, jak má, ceny se nebudou lišit a že ceny v modelovém případě by odpovídali realitě, se zdá, že pro proces zplyňování za pomoci media páry, by rentabilita po 17 až 19 letech dávala smysl, pokud by procesní jednotka vydržela v ideálním stavu a účinnosti po dobu 35 let, na které je napočítaná. V případě procesu zplyňování za pomoci media vzduchu, přestože jsou zde nižší investiční náklady i nižší provozní náklady je návratnost za 30 až 31 let. V ideálním případě, by i tato varianta dávala smysl, ale pokud se bude uvažovat s rostoucími cenami a snižující účinností zplyňovací jednotky, je téměř nereálné, že by tato jednotka byla rentabilní.

Dalším porovnáním je graf doby návratnosti:



Graf 7 - Grafické porovnání doby návratnosti

Z grafu je vidět, že tok hotovosti projektu je téměř totožný a že křivky se téměř překrývají. Avšak kumulativní tok hotovosti projektu, tedy doba návratnosti, kdy křivka protne nulovou osu je v případě červené křivky, tedy kumulativního toku projektu páry, kolem sedmnáctého roku, zatímco v případě kumulativního toku projektu vzduchu, až ve třicátém roce. Graf tedy potvrzuje numerický výpočet doby návratnosti. Zároveň graf ukazuje, že v případě procesu zplyňování s parou, je v posledním roce kumulativní suma kolem 175 milionů, zatím co v případě procesu zplyňování se vzduchem jen kolem 25 milionů.

Vzhledem k těmto hodnotám, v ideálním případě a podmínkách, je považován proces zplyňování s parou za rentabilní.

6 Vysvětlení pro soubory MS Excel

Pro výpočet jsou použity vždy dva soubory MS Excel pro jeden typ media. Konkrétně se jedná o hmotnostní a energetickou bilanci a ekonomickou bilanci.

V souboru hmotnostní a energetická bilance jsou tři listy. Prvním listem je „Hmot. Bilance + blokové schéma“, zde je zjednodušené blokové schéma pro výpočet, dále jsou zde vstupní hodnoty a hlavní výpočet hodnoty produkovaného plynu a jednotlivých složek v procesu. Druhým listem je „Energetická bilance“, zde je uvedené zjednodušené energetické schéma a výpočet energetické náročnosti procesu. Třetím listem je „Přehledová tabulka“, zde je uvedená přehledová tabulka vstupů a výstupů.

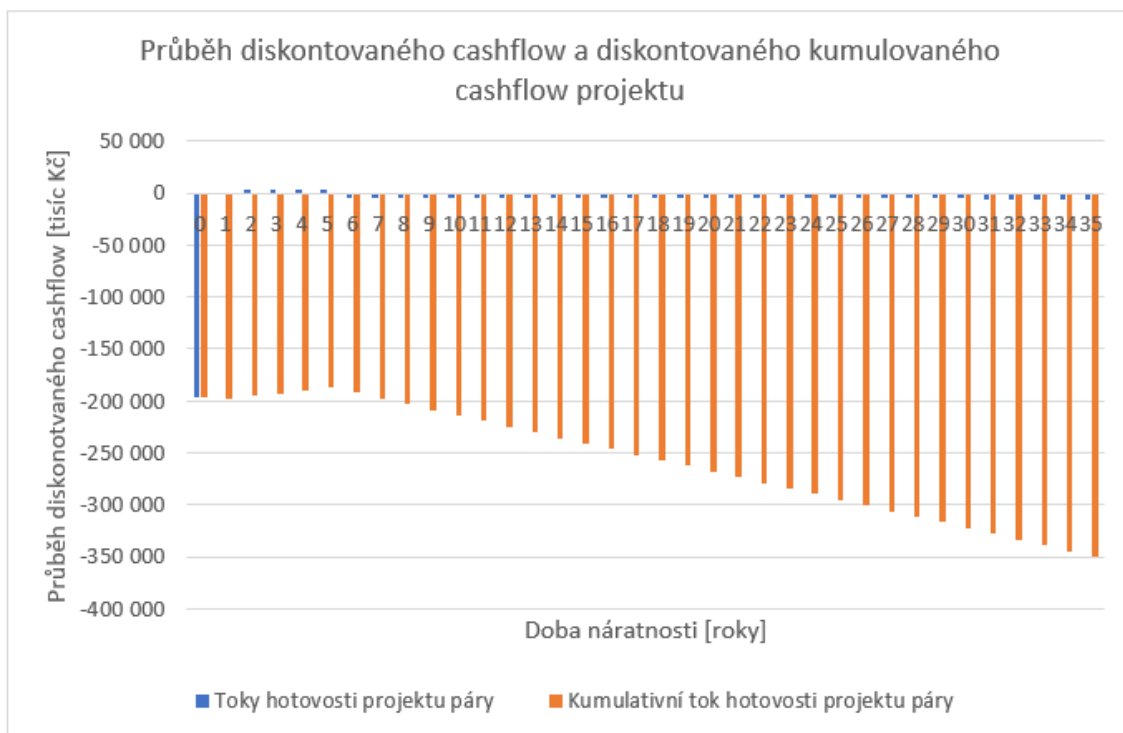
V souboru ekonomická bilance je šesti listů. Prvním listem je „Bilance množství“, zde je výpočet celkového množství vyprodukovaného plynu za rok a celková potenciální prodejní cena. Druhým listem je „Ekonomická bilance“, zde je uveden hlavní výpočet všech nákladů, zisků, návratností atd. Třetím listem je „NVP graf“. Čtvrtým listem je „Doba návratnosti graf“, zde je graf, který ukazuje, v jakém roce dojde k návratnosti investic a projekt začne být ziskový. Pátým listem je „Fixní kapitálové investice“, zde je výpočet jednotlivých cen aparátů (zařízení) a cen na stavbu. Šestým listem je „Splacení úvěru“, zde je názorná tabulka pro splátky úvěru.

7 Úvaha

V dnešní době je výstavba zplyňovacích jednotek podporována ve většině případů dotacemi z fondů EU, a i českých fondů, které zaštiťuje česká vláda. Z tohoto hlediska, jak bylo ukázáno v kapitole 5.4.8. *Doba návratnosti a rentabilita*, se zdá být zplyňovací jednotka rentabilní a určitě by se vyplatil takový projekt realizovat. Ovšem výstavba je závislá ještě na více parametrech a faktorech, které budou zde v diskusi objasněni a vyvrátí rentabilitu projektu.

Jedním z velmi důležitých faktorů je umístění zplyňovací jednotky. Bude-li jednotka postavena blízko zdroje dřevní štěpky, ušetří se velké náklady za dovoz. Zároveň je potřeba, aby oblast byla bohatá na tuto surovinu a bylo možné tuto surovinu zakoupit. Ideálním případem je, aby v blízkém okolí byly dřezozpracovatelské továrny, jako jsou například pila a továrny na výrobu nábytku. Důležitým faktorem je i cena vykupované dřevní štěpky. Tento faktor je ukázán dále v kapitole citlivostní analýza.

Asi nejdůležitějším faktorem, který ovlivní celkovou rentabilitu procesu jsou předúpravy surovin. Tato část není v diplomové práci zahrnuta, jelikož diplomová práce řeší pouze hlavní proud zplyňování bez všech předúprav a následných úprav plynu, tak jak firmy prodávají zplyňovací jednotky. Přesto je velice důležité si uvědomit, že předúprav surovin, jsou velmi energeticky náročné. V případě biomasy (dřevní štěpky) se jedná o dopravu od zdroje ke zplyňovací jednotce a dále o nejvíce energeticky náročnou oblast, a to je drcení a sušení biomasy. K tomu jsou zapotřebí připočítat další fixní investiční náklady na sušičku a drtičku dřeva na dřevní štěpku. Zároveň je zapotřebí uvažovat o rozšíření pozemku a přistavení další budovy. V neposlední řadě, zvýšit pracovní personál, jelikož se to neobejde bez obsluhy. Pokud se uvažuje, že jen pro ukázkou, by za sušení se zvýšila energetická náročnost o 500 kW, a to samé v případě řezání, drcení a mletí dřeva na dřevní štěpku. Celková energetická náročnost by vzrostla o 1 MW.



Graf 8 - Grafické doby návratnosti při zvýšení energetické náročnosti

Z grafu doby návratnosti je patrné, že se celý proces stal nerentabilní, přesto že je uvažovaná zplyňovací jednotka s parou, která původně vycházela na 17 až 19 rok návratnosti. A to není uvažovaná doprava biomasy, zvýšení ceny za budovu a rekonstrukce ani zvýšený počet zaměstnanců.

Dalším faktorem, který není zahrnut v diplomové práci, jelikož se jedná o předúpravu je třídění vstupní biomasy. V přivezené biomase se může nacházet dané množství listů, trávy případně hlíny. Všechny tyto suroviny mají vysokou vlhkost a jiné složení než požadované dřevo. S tímto faktorem se dá vypořádat velice těžko. Buď veškeré přivezené dřevo bude muset kontrolovat pracovník nebo se musí vymyslet vhodný mechanický způsob na třídění. Ani z jeden návrhů však nezaručí ideální čistotu dřevní štěpky. Tím se zároveň sníží účinnost, zvýší usazování nechtěných látek v celé jednotce a sníží se její živostnost.

Faktorem ovlivňující rentabilitu projektu jsou i výstupy vedlejších proudů. Jak již bylo zmíněno, modelový případ diplomové práce se zabývá převážně jen hlavní proudem, tudíž i tyto faktory zvýší provozní náklady. Jedním z těchto faktorů je vývoz tuhé fáze ze zásobníku popelovin. Zásobníky popelovin jsou dimenzovány na 7,5 m³, což je jedna korba nákladního auta. Samozřejmě vývoz těchto nechtěných látek stojí poplatky za uskladnění na skládku, tak i samotný vývoz. Stejně tak je zapotřebí uvažovat vypouštění

plynných emisí do ovzduší, za což se platí povolenky. A jedním z posledních faktorů z vedlejšího proudu je vypouštění odpadu do kanalizace.

Jelikož výpočtový model je uvažován jako ideální, tedy není zde žádný tepelný únik a je uvažovaná dokonalá izolace a těsnost, je zapotřebí si uvědomit, že v reálném životě tomu tak není. Z toho plyne, že s rostoucími úniky tepla s po letech degradující izolací a těsností, bude potřeba dodávat větší množství tepla.

Zatím se řešila předúprava a samotný proces, ale nesmí se zapomenout ani na následný proces a tím e čištění a využití produktového plynu. Jelikož ve výpočtovém modelu je uvažováno, že kvalita produktového plynu je stejná jako zemní plyn, byla branná přibližně stejná cena, za kterou by se produktový plyn dal prodat. Vzhledem k daleko horšímu složení, by muselo následovat dočištění plynu nebo separace jednotlivých prvků z produktového plynu, které snižují výhřevnost nebo hořlavost. Separace plynů a dokonalé dočištění od velmi jemných tuhých částic je velice energeticky náročné a nehledě na to, že taková čistící a separační linka na produktový plyn, potřebuje další prostor, kde by byla umístěná a s tím vysoké fixní investiční náklady. Tedy tento faktor, by z procesu zplyňování dřevní štěpky udělal určitě nerentabilní projekt.

Všechny tyto faktory jsou negativní pro provozování zplyňovací jednotky a určitě by se z rentabilního projektu stal velice nerentabilní. Existují však faktory, které nejsou uvažované a mohli by snížit tak negativně vypadající výsledek rentability.

Prvním z pozitivních faktorů by mohlo být využití tepla. Po procesu zplynění se ochlazuje produktový plyn. Případě nechá se vychladnout tuhá fáze. Dané teplo by se dalo využít pro ohřev media a tím zvýšení účinnosti nebo snížení nákladů. Dále by teplo mohlo vyhřívat celou budovu. V případě procesu zplyňování za pomoci páry, by se pro snížení provozních nákladů, mohl zakoupit a instalovat parní generátor, tím by se snížila cena za dodávání páry. Nebo by se voda nebo pára mohla přehřívat právě přebytečným teplem na tak potřebnou teplotu, pro vznik požadovaných podmínek páry. Využití tepla by zajisté ve finální kompletní verzi našlo více uplatnění.

Nejpozitivnějším faktorem pro zvýšení rentability projektu je zapojení za zplyňovací jednotku, produkční zařízení. Tím se myslí například turbína, motor nebo kotel, který by převáděli potenciál produktového plynu na elektrickou energii či teplo. Cena elektrické energie nebo tepla, je zaručeně vyšší než cena, za který by se dal produktový plyn reálně prodat. Zároveň by se nemusela řešit následná distribuce nebo uskladňování

produktového plynu. Nevýhodou jsou další fixní investiční náklady, provozní náklady a větší důraz na dočištění plynu.

Ani jeden z výše uvedených pozitivních faktorů, by nám dle odhadu, nepřeklenul rentabilitu do kladných čísel a návratnost alespoň do 20 let. Jelikož každý pozitivní faktor je méně ziskový než negativní faktory. Zároveň má i své nevýhody jako zvýšení investičních a provozních nákladů.

Nejdůležitějším faktorem ze všech je ale faktor, jež zde zatím nebyl vůbec uvažován a výpočtový model diplomové práce ho vůbec neuvažuje, či spíše popírá. Tímto faktorem je, že celý proces se během svého provozu silně zanáší, napékají se zde nečistoty, zanáší se dehtem a je velice obtížné tyto nečistoty odstranit. A to tak, že je zapotřebí jednotlivé části procesu vyměnit, a to v relativně krátké době. Tedy odhady a již zrealizované zplyňovací jednotky na biomasu uvádí dobu životnosti do pěti let. S tím že, se každým rokem snižuje účinnost, což má za následek snižování kvality, případně množství produkčního plynu.

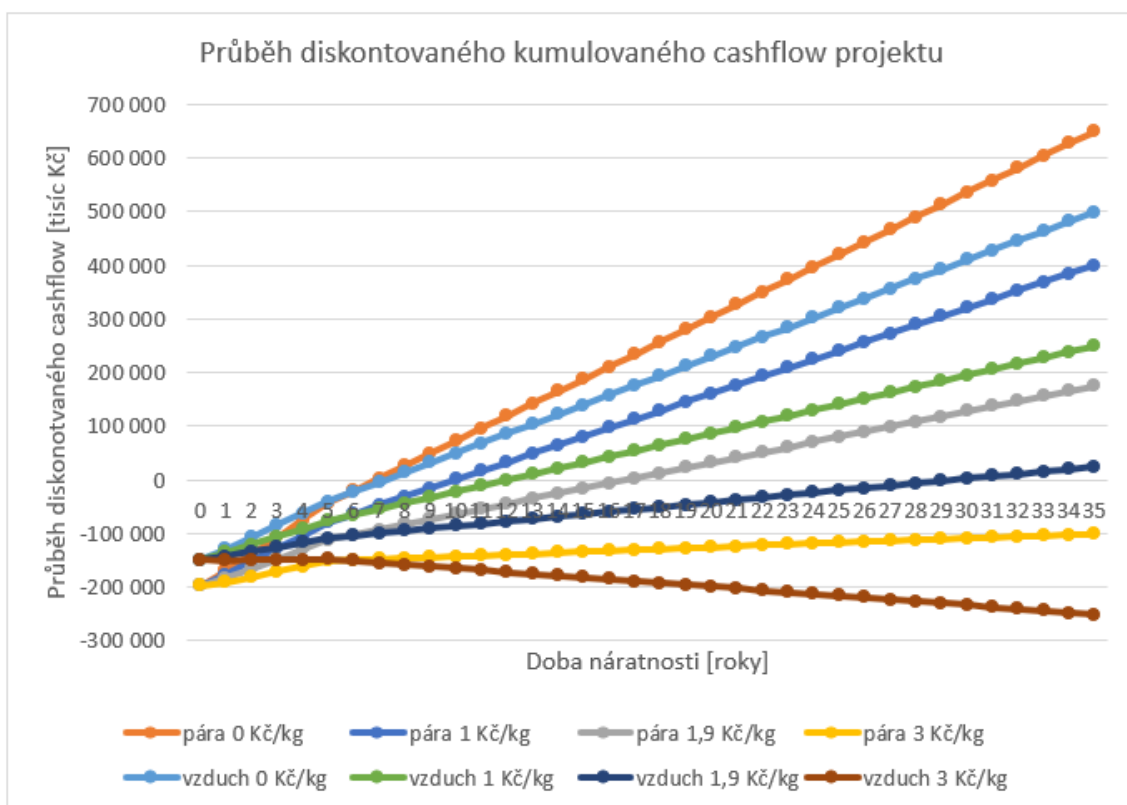
V případě zplyňování dřevní štěpky za pomoci media páry, je ve výsledném produktu, velké množství vodíku. Konkrétně 34 % z produktového plynu, což činí 534,7 kg/h. Určitě by stálo, za zamyšlení nebo vytvoření jiné práce, zda by se více vyplatilo, vybudovat v návaznosti další jednotku na separaci vodíku a prodávat vodík jako samostatný plyn. V dnešní době se vodík prodává za 14 USD za kg. Přepokládaný odhad na rok 2030, počítá s klesající cenou na 8 až 10 USD za kg.

7.1 Citlivostní analýza

Citlivostní analýza je zde uvedena pro výpočtový model v diplomové práci. Nezahrnuje faktory, který jsou výše zmíněni v úvaze.

7.1.1 Cena biomasy

Prodejní cena biomasy se pohybuje okolo 1,9 Kč/kg dřeva nařezaného na větší kusy (3-5 metrů) ze společnosti České lesy. Pro citlivostní analýzu je vytvořen graf, pro porovnání doby návratnosti při změně prodejní ceny biomasy. Je uvažováno, vzhledem ke kůrovcové kalamitě v českých lesech, že by prodejní cena byla nulová, aby se napadené dřevo co nejdříve zpracovalo a nešířil se dál kůrovec. Další hodnotou je přibližně poloviční cena, tedy 1 Kč/kg a poslední hodnotou je zvýšená cena za 3 Kč/kg, kdyby v následujících letech nastal prudší růst ceny dřeva.

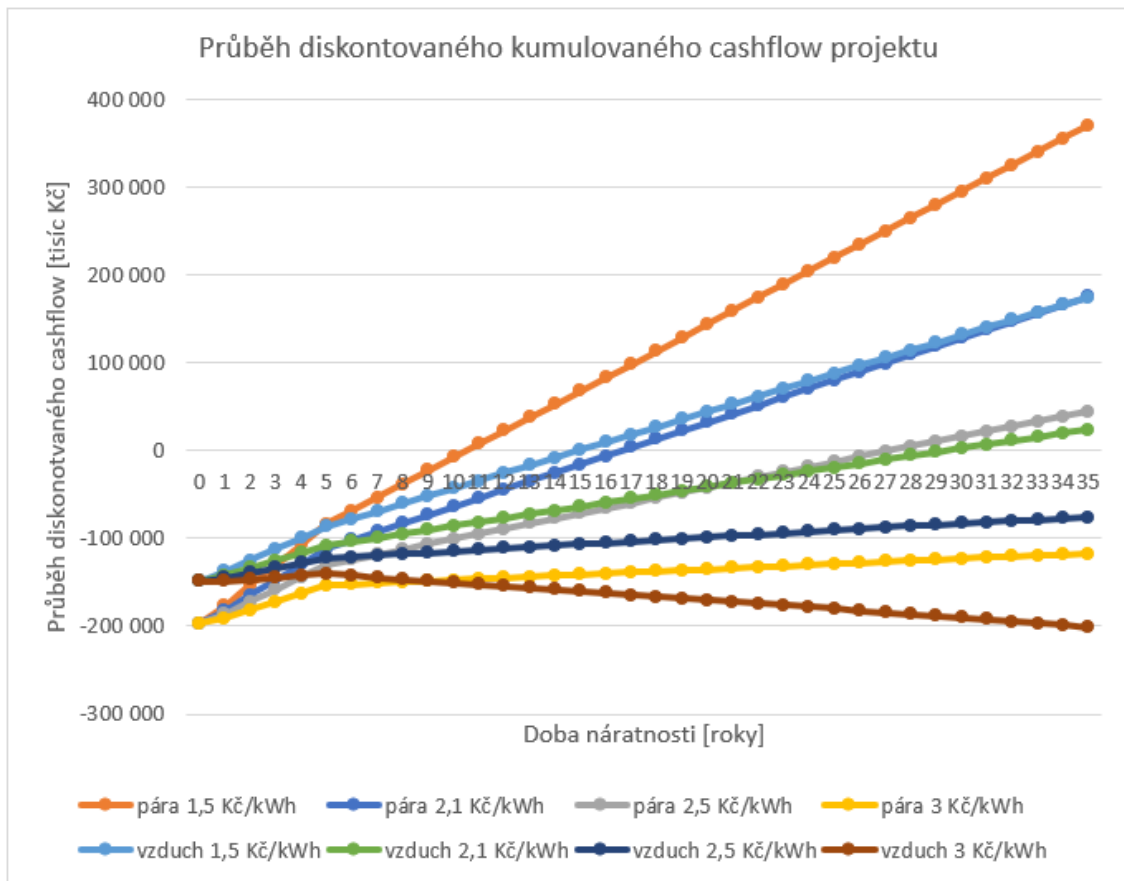


Graf 9 - Citlivostní analýza ceny biomasy

První hodnota v grafu určuje medium, druhá prodejní cenu za biomasu. Z grafu je patrné, že cena biomasy má velký vliv na rentabilitu a dobu návratnosti procesu. Při nulové ceně biomasy (dřeva) se pro medium pára i vzduch pohybuje doba návratnosti okolo 6 až 7 roku. V případě prodejní ceny za 1 Kč/kg je doba návratnosti v případě media páry kolem 10 roku a v případě media vzduchu až kolem 12 roku. Pro oba případy je výpočtový model s cenou 3 Kč/kg nerentabilní a nedojde k návratnosti.

7.1.2 Cena elektrické energie

Prodejní cena elektrické energie se pohybuje okolo 2,1 Kč/kWh včetně všech jističů a dalších prvků. V následném grafu je ukázaná doba návratnosti pro případy, kdyby se cena snížila na 1,5 Kč/kWh, což je vzhledem k dlouhodobému růstu ceny elektrické energie nepravděpodobné. Zároveň jsou případy pro růst elektrické energie na 2,5 Kč/kWh a 3 Kč/kWh.



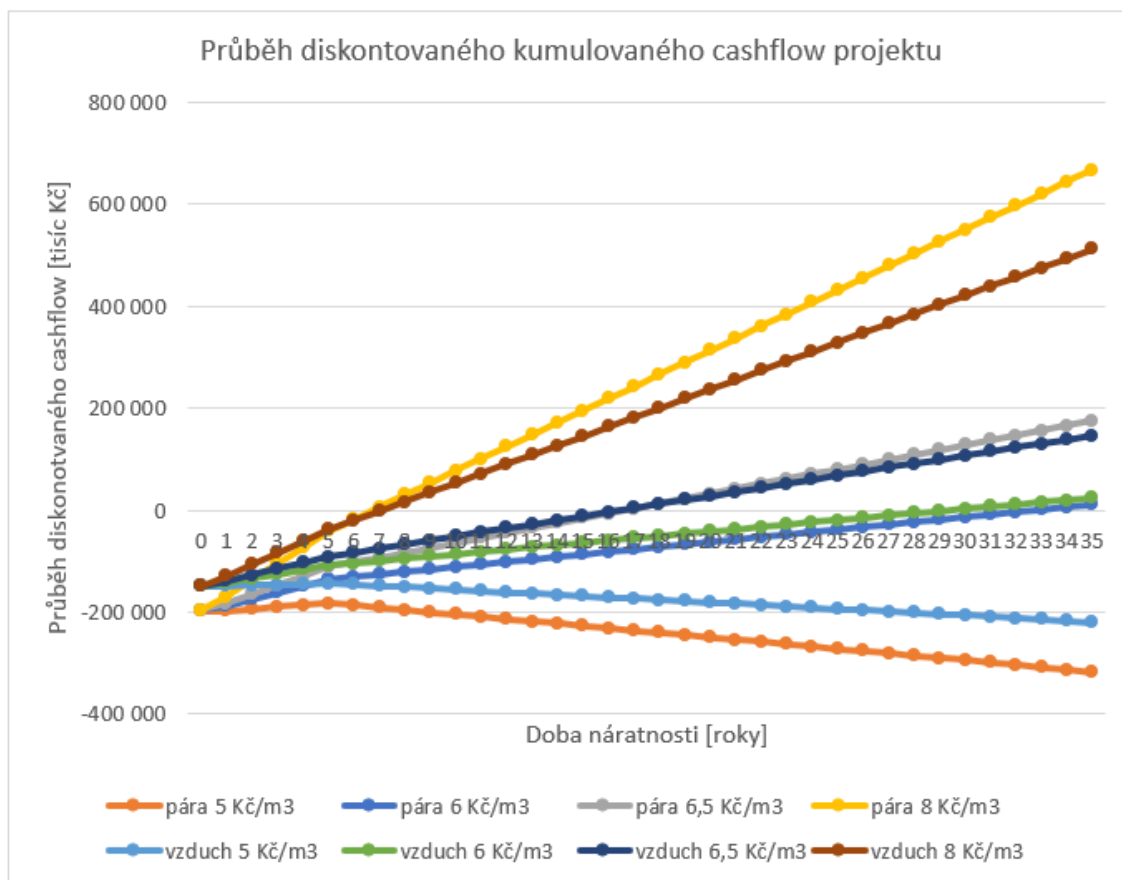
Graf 10 - Citlivostní analýza ceny biomasy

První hodnota v grafu určuje medium, druhá prodejní cenu elektrické energie za kWh. Z grafu je opět patrné, že prodejní cena elektrické energie za kWh, má velký vliv na celkovou dobu návratnosti a rentabilitu. Zároveň je vidět, že při ceně 1,5 Kč/kWh pro medium vzduch, teprve přibližně dorovnává modelový případ za 2,1 Kč/kWh media páry. A stejný případ je při ceně 2,1 Kč/kWh pro medium vzduch a 2,5 Kč/kWh media páry. Při ceně 3 Kč/kWh pro obě media, je projekt nerentabilní a nedojde k návratnosti. V případě media vzduchu, je projekt nerentabilní již v případě prodejní ceny elektrické energie za 2,5 Kč/kWh.

7.1.3 Prodejní cena produktového plynu

Cena produktového plynu je stanovena přibližně jako cena zemního plynu. V případě media vzduchu na 6 Kč/m³, v případě media páry, jelikož má lepší složení produktového plynu na 6,5 Kč/m³. Pro citlivostní analýzu je vytvořen graf, kde je uvažovaná prodejní cena za 5 Kč/m³, což by asi nejvíce mohlo odpovídat reálné ceně. Dále pro porovnání jsou uvedené obě ceny 6 Kč/m³, i 6,5 Kč/m³. Poslední hodnotou je

prodejní cena za 8 Kč/m³, kdyby ceny energií prudce vzrostly a začalo se přecházet na plynné produkty, jak je tomu energetický svět tlačen, hlavně v USA.



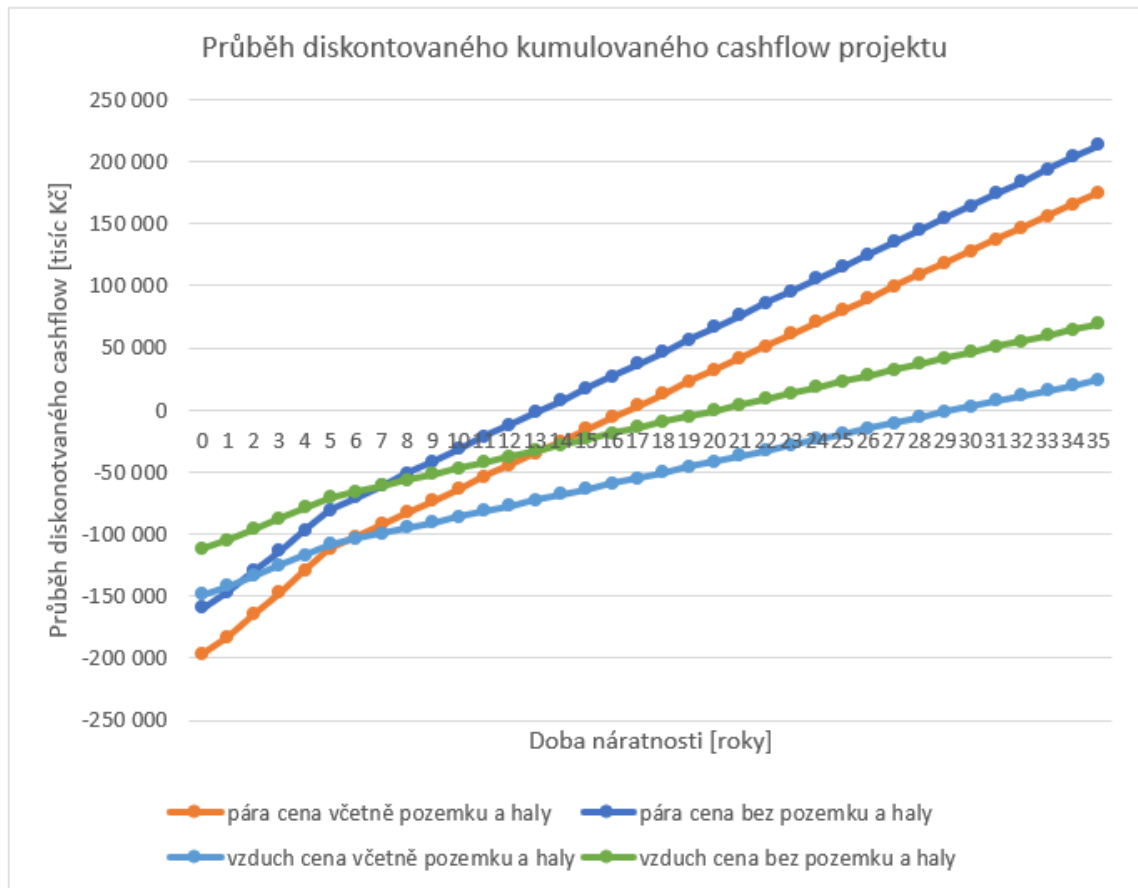
Graf 11 - Citlivostní analýza prodejní ceny produktového plynu

První hodnota v grafu určuje medium, druhá potenciální prodejní cenu produktového plynu za m³. Z grafu je opět patrné, že prodejní cena má velký vliv na rentabilitu a dobu návratnosti. Při ceně 8 Kč/m³, je pro obě media téměř totožná doba návratnosti kolem 7 roku. V případě prodejní ceny za 6,5 Kč/m³, je opět téměř totožná doba návratnosti mezi 16 až 17 rokem, stejně tak při ceně 6 Kč/m³, se pohybuje návratnost pro obě media kolem 31 roku. Z toho plyne, že prodejní cena produktového plynu, má sice velký vliv na rentabilitu celkového projektu, ale prodejní cena mezi jednotlivými medii, při nastavené stejné prodejní ceně, nemá velký vliv na rozdílnost v době návratnosti. V případě prodejní ceny za 5 Kč/m³, je projekt nerentabilní.

7.1.4 Stavba

Cena stavby je určena na 30 milionů Kč a k tomu 5 milionů Kč na rekonstrukci a úpravy haly. Pro citlivostní analýzu, lze uvažovat, že projekt nevzniká zakoupením pozemku s halou, ale vzniká již ve velké korporační firmě, která má ještě volné prostory.

Z tohoto hlediska se porovnává, jaký dopad na rentabilitu a dobu návratnosti, je rozdíl při pořizování pozemku s halou včetně rekonstrukce a úprav na hale vs. pouhé rekonstrukce.



Graf 12 - Citlivostní analýza stavby

První hodnota v grafu určuje medium, druhá typ stavby. Z grafu citlivostní analýzy pro stavbu je vidět, že při uvažování investičních nákladů za stavbu haly a pořízení pozemku, je doba návratnosti o tři roky pozdější, pro medium páry. V případě media vzduchu je rozdíl devíti let, než při pouhé rekonstrukci a úpravě haly pro zplyňování biomasy. Zároveň je důležité si uvědomit, že při nižších investičních nákladech, je nižší úvěrová půjčka.

8 Závěr

V rámci této diplomové práce bylo navrženo PFD schéma zplyňovací jednotky na základě vypracované rešeršní části, na zpracování biomasy, konkrétně dřevní štěpky s dvěma různými medii, vzduchem a párou. Následně byla zhotovena hmotnostní a energetická bilance. Vstupní hodnota byla stanovena na 1000 kg/h a potřebné množství media. Na tuto kapacitu byla dimenzovaná celá procesní jednotka, tedy jednotlivá procesní zařízení (aparáty) a jejich nacenění, aby mohla být provedena ekonomická bilance celého uvažovaného projektu. Výstupem ekonomické bilance je doba návratnosti a rozhodnutí a rentabilitě projektu. Vzhledem k uvažování ideálními podmínkami v celém procesu, cenám výkupních surovin, nezohlednění předúprav a následných finálních úprav plynu, které jsou zohledněny v kapitole *Diskuse*, je možné, že projekt může být ovlivněn změnami cen jednotlivých surovin. Z tohoto důvodu byly vypracovány citlivostní analýzy, kde je grafické porovnání doby návratnosti při uvažovaných změnách cen.

Na hlavní otázku, zda je projekt zplyňování biomasy za pomoci media, ať už vzduchu nebo páry, rentabilní a zda by se tedy vyplatilo tento projekt realizovat, je vícero odpovědí. Záleží, co vše se do projektu zahrne. Na základě výpočtů uvažovaného projektu, se zdá být zplyňování dřevní štěpky za pomoci media páry rentabilní a doba návratnosti je 17 až 19 let. V případě media vzduchu 30 až 31 let. Což je již otázka, zda by se našel investor, který by měl odvalu jít do tak riskantního projektu. Pokud se však zohlední, nejen řešený ideální model hlavního proudu zplyňování, ale zahrnou se do něj veškeré úvahy o předúpravě surovin, finálním čištění produktového plynu, likvidaci nechtěných látek z vedlejších proudů, jedná se pro obě varianty absolutně o nerentabilní projekt. Navíc když se zohlední reálná životnost projektu na 5 let. V tomto případě se musí konstatovat, že projekt na zplyňování dřevní štěpky bez ohledu na medium, je z praktického hlediska v dnešní době, bez podpory dotací nerentabilní a nevyplatí se žádnému investorovi tento projekt spustit.

Je zapotřebí zdůraznit, že je vycházeno jen z hrubých modelových výpočtů a pro přesnější výsledky, by bylo zapotřebí provést důkladnější rozbor jednotlivých částí. Dalším faktorem je, že model vychází z několika předpokladů, které by bylo potřeba experimentálně ověřit a následné hodnoty dosadit do výpočtů. Hlavními předpoklady jsou procentuální zastoupení jednotlivých produktů v jednotlivých částech zařízení, což má za následek velikost a typ zařízení i následnou pořizovací cenu. Zároveň je uvažováno

s výstavbou zplyňovací jednotky a rekonstrukce budovy v okolí Českých Budějovic. Je klidně možné, že kraj by tuto stavbu nepovolil, ať už z hlediska emisního povolení nebo již velkého množství firem v okolí na zpracování dřeva.

Přesto se do budoucnosti zdá být zplyňování biomasy dobrou metodou. Biomasa je momentálně dostupnou a nevyčerpatelnou surovinou. Pokud by se časem zdokonalila zplyňovací jednotka na dřevní štěpku a byla by daleko více rentabilní. V ideálním případě by se jednalo o proces v menším měřítku, možné využití a zastoupení v praxi, by určitě uvítaly firmy na výrobu a zpracování dřeva, jako jsou Ikea, Asko, Sconto a podobné firmy, kam je možné starý nábytek zavést a firmy na své náklady zajistí likvidaci. Nebo by mohli vznikat spolky firem, kde na již stávající firmu, jako jsou pily a výrobní nábytků, by navázala druhá firma na zpracování odpadních částí, tedy nechtěného dřeva a dřevních zbytků.

Použité zdroje

1. Proč si zapalít uhlí pod nohama. *Http://www.svetplnyenergie.cz/* [online]. [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <http://www.svetplnyenergie.cz/proc-si-zapalit-uhli-pod-nohama>
2. MOTLÍK, Jan, VÁŇA, Jaroslav: Biomasa pro energii (2) Technologie. *Biom.cz* [online]. 2002-02-06 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-2-technologie>>. ISSN: 1801-2655.
3. MOTLÍK, Jan, VÁŇA, Jaroslav: Biomasa pro energii (1) Zdroje. *Biom.cz* [online]. 2002-02-01 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-1-zdroje>>. ISSN: 1801-2655.
4. ZPLYŇOVACÍ JEDNOTKY A JEJICH APLIKACE V ELEKTROENERGETICE. *Https://www.vutbr.cz/* [online]. BRNO, 2011 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_veřejne.php?file_id=39809
5. JANČAR, Rost'á. Před 160 lety se Praha rozsvítila. Ale lidé se báli. *Https://technet.idnes.cz/* [online]. 2007 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: https://technet.idnes.cz/pred-160-lety-se-praha-rozsvitila-ale-lide-se-bali-fr6-/tec_technika.aspx?c=A070913_185907_tec_technika_rja
6. CELJAK, Ivo. Biomasa je nezbytná součást lidského života. *Https://biom.cz/* [online]. [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-nezbytna-soucast-lidskeho-zivota>
7. LACH, Bronislav. Energetická a materiálová bilance zbytku biomasy při těžbě dřeva. *Dspace.vsb.cz* [online]. Technická univerzita Ostrava, 2014 [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/104518/LAC101_FMMI_B3909_2805R001_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=n
8. MURTINGER, Karel. Technologie pro využití dřevní biomasy. *Www.tzb - info.cz* [online]. 2009 [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/5537-seminar-biomasa-pro-vyrobu-tepla>

9. Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012–2020. *Http://eagri.cz* [online]. Těšnov 17, 117 05 Praha 1: Ministerstvo zemědělství, 2012 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/179051/APB_final_web.pdf
10. Náklady a potenciál využití biomasy v České republice. *Biom.cz* [online]. 2005-10-20 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/naklady-a-potencial-vyuziti-biomasy-v-ceske-republice>>. ISSN: 1801-2655.
11. OCHODEK, Tadeáš a Pavel JANÁSEK. Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy. *Http://www.biomasa-info.cz* [online]. Technická univerzita Ostrava [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/prirucka1.pdf>
12. JAKUBES, Ing. Jaroslav, Ing. Helena BELLINGOVÁ a Ing. Michal ŠVÁB. MODERNÍ VYUŽITÍ BIOMASY TECHNOLOGICKÉ A LOGISTICKÉ MOŽNOSTI. *Https://www.mpo-efekt.cz* [online]. Česká energetická agentura, 2006 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>
13. Podívejte se: Kde najdete v Česku bioplynové elektrárny. *Https://www.nazeleno.cz/* [online]. 2009 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/energetika/podivejte-se-kde-najdete-v-cesku-biopllynovye-elektrarny.aspx>
14. Klimaschutz. Was ich selbst tun kann. Umwelt-Tipps. *Http://www.schurwald-solar.de/* [online]. 2008 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <http://www.schurwald-solar.de/>
15. Technologie bioplynových stanic. *Http://www.bioplynovestanice.cz* [online]. 2008 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/technologie-bps/>
16. Biotechnologické využití bioplynu. *Https://publi.cz*[online]. [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/19.html>
17. Výroba motorových paliv z biomasy. *Https://publi.cz* [online]. [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/20.html>
18. SKOPAL, CSC., Doc. Ing. František, Ing. Martin HÁJEK, PH.D., Ing. Petr KUTÁLEK a Ing. Jaroslav KOCÍK. Bionafta (FAME) - náhrada za fosilní

- naftu. [Http://kfch.upce.cz](http://kfch.upce.cz)[online]. [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: http://kfch.upce.cz/htmls/vedecka_cinnost_bionafta.htm
19. VLKOVÁ, Jitka. O biopaliva není na pumpách zájem, stát ušetřil stovky milionů na dotacích. [Https://ekonomika.idnes.cz](https://ekonomika.idnes.cz) [online]. 2017 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: https://ekonomika.idnes.cz/biopaliva-se-neprodavaji-stat-usetril-na-dotacich-fvn-/ekonomika.aspx?c=A170129_201703_ekonomika_jol
 20. Zplyňování. [Http://vytapeni.tzb-info.cz](http://vytapeni.tzb-info.cz) [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/13729-zplynovani-principy-a-reaktory>
 21. POHOŘELÝ, Ing. Michael a Ing. Michal JEREMIÁŠ. Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění. [Http://files.tretiruka.cz](http://files.tretiruka.cz) [online]. Kouty nad Desnou, 2010 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <http://files.tretiruka.cz/200001013-a770ca86ad/109.pdf>
 22. HUBAČ, Tomáš. BIOMASA JAKO ZÁKLADNÍ SUROVINA PRO VÝROBU PALIV A ENERGIE. [Https://theses.cz](https://theses.cz) [online]. České Budějovice, 2014 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: https://theses.cz/id/ydspwf/Tomas_Hubac_Bakalarska_prace_2014.pdf
 23. VREUGDENHIL, Berend. Gasification of Biomass and Waste. [Www.ieabioenergy.com](http://www.ieabioenergy.com) [online]. THE NETHERLANDS: Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO) [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.ieabioenergy.com/task/thermal-gasification-of-biomass>
 24. POHOŘELÝ, MICHAEL a MICHAL JEREMIÁŠ. ZPLYŇOVÁNÍ BIOMASY. [Biom.cz](http://biom.cz) [online]. Ústav chemických procesů AV ČR, 2010 [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/zplynovani_biomasy.pdf
 25. KAŠPAR, Matěj. ZPLYŇOVÁNÍ BIOMASY A ODPADŮ S KOGENERACÍ POMOCÍ MIKROTURBÍNY. [Core.ac.uk](http://core.ac.uk) [online]. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2008 [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30306665.pdf>

26. Elektrárna v Kozomině využívá dřevní štěpku s rekordní účinností. *Oenergetice.cz* [online]. 2016 [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrarny-cr/elektrarna-v-kozomine-vyuziva-drevni-stepku-s-rekordni-ucinnosti>
27. Co je zplyňování a pyrolýza. *Www.cpga.cz* [online]. Rozvojová 1/135, Praha 6 Suchdol, 165 02: ČESKÁ ASOCIACE PRO PYROLÝZU A ZPLYŇOVÁNÍ [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <http://www.cpga.cz/#cojezplynovani>
28. SKOBLIA, Siarhei. Zkušenosti s provozem vícestupňových generátorů v ČR. *Www.cpga.cz* [online]. Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, VŠCHT Praha, Technická 5, 2015 [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: http://www.cpga.cz/files/prednasky/1509_ENBIO_fulltext.pdf
29. Prof. Ing. Lukas Kratky, Ph.D. *Gasification and Pyrolysis*. Praha. Prezentační podklady. ČVUT.
30. Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu>
31. Měrná tepelná kapacita zemních plynů v závislosti na teplotě. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/91-merna-tepelna-kapacita-zemnich-plynu-v-zavislosti-na-teplote>
32. Fyzikální vlastnosti vybraných plynů a par. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/8-fyzikalni-vlastnosti-vybranych-plynu-a-par>
33. TOWLER, Gavin P. a R. K. SINNOTT. *Chemical engineering design: principles, practice, and economics of plant and process design*. 2nd ed. Boston, MA: Butterworth-Heinemann, 2013. ISBN 978-0-08-096659-5
34. Prof. Ing. Jiří Šesták, DrSC. a Prof. Ing. František Rieger, DrSC. *Přenos hybnosti, tepla a hmoty*. Praha, 1998. Skripta. ČVUT.
35. Ceny zemního plynu 2020. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/13-prehled-cen-zemniho-plynu>

36. ROUŠAR, Ivo. Projektové řízení technologických staveb. Praha: Grada, 2008.
ISBN 978-80-247-2602-1.
37. POHOŘELÝ, Michael. *ALOTERMNÍ FLUIDNÍ ZPLYŇOVÁNÍ BIOMASY*. Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i., Rozvojová 135, 165 02 Praha 6, 2009. VŠCHT Praha.

Seznam příloh

- (P1) PFD schéma vzduch (.pdf)
- (P2) PFD schéma pára (.pdf)
- (P3) Hmotnostní a energetická bilance vzduch (.xlsx)
- (P4) Hmotnostní a energetická bilance pára (.xlsx)
- (P5) Ekonomická bilance vzduch (.xlsx)
- (P6) Ekonomická bilance pára (.xlsx)