

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Možnosti a podmínky využití plynu získaného pyrolýzou biomasy  
Possibilities and conditions the using of the gas produced by  
biomass pyrolysis

Student:

Silvie Janáková, DiS.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Najser, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Silvie Janáková, DiS.**

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

3907R009 Provoz energetických zařízení

Téma:

Možnosti a podmínky využití plynu získaného pyrolýzou biomasy  
Possibilities and Conditions the Using of the Gas Produced by Biomass  
Pyrolysis

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši technologií pyrolýzy zaměřenou na biomasu
2. Stanovte požadavky na kvalitu pyrolýzního plynu pro jeho použití v kogenerační jednotce
3. Navrhněte možnosti čištění plynu
4. Proveďte analýzu vybraného řešení

Seznam doporučené odborné literatury:

Prospekty firem zabývajících se pyrolýzou biomasy a využitím plynu v kogenerační jednotce.

Internetové stránky zabývající se problematikou pyrolýzy biomasy.

KNOEF, H.A.M., Handbook Biomass Gasification, BTG biomass technology group BV, The Netherlands, 2005, ISBN 90-810068-1-9.

KRBEK J., POLESNÝ B. Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích. Skripta VUT Brno, 1997.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Najser, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



doc. Ing. Kamil Kolarčík, CSc.  
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité zdroje a literaturu.

V Ostravě 14.5.2014



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....14.5.2017

.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Silvie Janáková, DiS.

Adresa trvalého pobytu autora práce: Beskydské sídl. 1203, Frenštát p/R, 744 01

Tímto chci poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Najserovi, Ph.D. za cenné rady, dozor, podporu, názory, motivaci, praktické ukázky a mnoho rozmanitých zkušeností, které jsem získala pod jeho vedením.

Silvie Janáková, DiS.

## ANOTACE

Možnosti a podmínky využití plynu získaného pyrolýzou biomasy. Ostrava: Katedra energetiky, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2017.

Předmětem bakalářské práce je porovnání možností, jak lze účinně vyčistit plyn vyrobený pyrolytickým procesem. Možnosti jsem sama navrhla a teoreticky porovnála. Kritériem byla eliminace nečistot různými čistícími zařízeními a následné energetické využití plynu v kogenerační jednotce.

Práce je rozdělena do několika částí. První je teoretická a popisují jak technologický proces pyrolýzy za daných podmínek spolu s různými technologiemi, tak historii pyrolýzy, až po možný materiál, který lze použít jako vstupní. Rovněž zmiňuji vzniklé produkty se zaměřením na pyrolýzní plyn a jeho následné energetické využití.

Druhá část je praktická a začíná popisem experimentálního zařízení umístěného v Ostravě – Vítkovicích, které mi bylo předlohou. Pak popisují způsoby čištění plynu se zaměřením na konkrétní zařízení. Ve výsledku uvádím schémata a jednotlivé čistící metody porovnám. Zjistím tak, která je nejúčinnější a vytváří medium s nejlepšími vlastnostmi.

**Klíčová slova:** pyrolýzní plyn; pyrolýza; energetické využití; kogenerační jednotka

## ANNOTATION

Possibilities and conditions the using of the gas produced by biomass pyrolysis. Ostrava: Department of Power Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2017.

The subject of the bachelor thesis is a comparison of possibilities how to effectively purify the gas produced by the pyrolytic process. I suggested options and compared the theoretical possibilities. The criterion was the elimination of impurities by various cleaning devices and the energy use of gas in the cogeneration unit.

The bachelor thesis is divided into several parts. The first one is theoretical and describes the process of pyrolysis under the certain conditions, along with various technologies, as well as the history of pyrolysis, to the possible material that can be used as an input. I also mention the resulting products with a focus on pyrolysis gas and its subsequent energy use.

The second part is practical and begins with the description of an experimental device located in Ostrava - Vítkovice, which was my model. After that I describe the methods of gas purification with a focus on specific devices. I will show the schemes and compare the individual cleaning methods in the end. I will find out which is the most effective and creates the medium with the best properties.

**Key words:** pyrolysis gas; pyrolysis; energy use; cogeneration unit

# Obsah

Seznam použitých zkratek a symbolů.....	1
Seznam obrázků a tabulek .....	2
1. Úvod.....	3
2. Technologický proces pyrolýzy.....	4
2.1 Podmínky pyrolýzního procesu.....	5
2.2 Historie pyrolýzy.....	6
2.3 Typy pyrolýzních technologií .....	8
2.3.1 Technologie Carbo-V .....	8
2.3.2 BTG technologie.....	9
2.3.3 Technologie HAAM .....	10
2.3.4 Technologie Babcock .....	10
2.3.5 Technologie Karbotech.....	10
3. Materiály vhodné pro pyrolýzní proces .....	11
3.1 Biomasa.....	11
3.1.1 Biomasa pěstovaná pro energetické účely .....	13
3.1.2 Odpadní biomasa .....	14
4. Produkty pyrolýzy.....	15
4.1 Možnosti čištění pyrolýzního plynu.....	15
5. Další způsoby výroby plynu .....	17
6. Popis experimentálního zařízení PYROMATIC .....	20
7. Způsoby čištění pyrolýzního plynu.....	22
7.1 Nástroje použité k čištění plynu.....	23
7.1.1 Cyklonový odlučovač .....	24
7.1.2 Mokrý vypírka.....	26
7.1.3 Filtr.....	28
7.2 Návrh metody čištění plynu .....	29
7.2.1 Návrh metody čištění č.1 .....	29



7.2.2	Návrh metody čištění č.2 .....	31
7.2.3	Návrh metody čištění č.3 .....	32
8.	Závěr .....	35
9.	Použité zdroje a literatura .....	36
10.	Přílohy.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>

## Seznam použitých zkratek a symbolů

°C	stupeň Celsia
cm	centimetr
CNG	compressed natural gas
ČOV	čistička odpadních vod
kg	kilogram
kWh	kilowatthodina
LPG	liquid petroleum gas
mm	milimetr
MPa	mega Pascal
SKO	směsný komunální odpad
TZL	tuhé znečišťující látky
VŠB-TUO	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

## Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 - Schéma cyklonu .....	25
Obrázek 2 - Mokrý pračka spalin V-tex.....	27
Obrázek 3 – Tkaninový filtr.....	29
Obrázek 4 – Blokové schéma pyrolýzní jednotky č.1 .....	31
Obrázek 5 - Blokové schéma pyrolýzní jednotky č.2 .....	32
Obrázek 6 – Blokové schéma pyrolýzní jednotky č.3 .....	33
Tabulka 1 – Celkové vyhodnocení .....	34

# 1. Úvod

Ve své bakalářské práci se zabývám vysvětlením pyrolýzy a popisem jejího technologického fungování. Dále se věnuji počátkům procesu pyrolýzy jako takové a uvádím nejen další druhy samotné pyrolýzy, ale i typy technologií, které jsou v tomto směru zatím využívány jak v České republice, tak ve světě. Jelikož je pyrolýza složitým procesem, vysvětluji podmínky, které jsou nezbytné ke správnému fungování pyrolýzní jednotky. Zmiňuji také materiály, které lze při tomto technologickém procesu použít jako vstupní palivo.

V praktické části popisuji pyrolýzní jednotku umístěnou v Ostravě – Vítkovicích, na které vysvětluji pyrolýzní proces. V závěru práce rozebírám schémata nutná k vyčištění vyrobeného pyrolýzního plynu. Následně uvádím schémata technologického zapojení s různými druhy technologických aparátů pro čištění plynu. Zároveň navrhuji vlastní zařízení nejvhodnější pro čištění plynu tak, aby bylo dosaženo co nejkvalitnějšího vyrobeného plynu s ohledem na využití v kogenerační jednotce.

## 2. Technologický proces pyrolýzy

Jak už bylo řečeno, pyrolýza je fyzikálně – chemický proces představující rozklad nevyužitého sekundárního materiálu v podobě odpadu a biomasy při vysokých teplotách a – co je velice podstatné – bez účasti kyslíku či jiných zplyňovacích látek. Jedná se tedy o změnu chemické struktury materiálu. Tento ekologický proces je velice účinný, nevznikají při něm škodliviny překračující zákonem stanovené normy, a technologie probíhá bez vzniku toxických plynů či negativních vlivů na okolí. Zařízení je možné provozovat celoročně, nepřetržitě a plně automatizovaný. Pyrolýzní jednotku lze taktéž považovat za bezpečnou z důvodu nízké hodnoty přetlaku a podtlaku v jednotlivých částech zařízení. Nespornou výhodou pak skýtá možná zpracovatelnost výstupů, přičemž je lze využít jak z energetického hlediska jako zbytkové teplo, tak i jako produkty, které je provozovatel schopen dále zpeněžit. [4]

V technické praxi se pyrolýza dělí dle dosahovaných teplot do tří skupin:

- nízkoteplotní pyrolýza – při teplotách do 500 °C
- středněteplotní pyrolýza – v rozmezí 500 až 800 °C
- vysokoteplotní pyrolýza – při teplotách nad 800 °C.

Při dosažení požadované rozkladové teploty, klesá stabilita vysokomolekulárních látek, které se začnou štěpit a dojde k uvolňování nízkomolekulárních látek. [1, 12]

Pyrolýza se dále dělí na rychlou a pomalou. Pomalá pyrolýza je známá jako karbonizace. Obvykle je při ní dosahováno teploty 400-600 °C a tlaku 0,001-0,1 MPa při nízké rychlosti zahřívání a dlouhé době pyrolýzního procesu. Využívá se především k produkci dřevěného uhlí a poskytuje přibližně vyrovnaný podíl tuhých, kapalných a plyných produktů. V současné době existují dvě základní varianty pomalé pyrolýzy v podobě pálení dřevěného uhlí, a to buď v klasických karbonizačních pecích, anebo jeho pálení v retortách. [6]

Druhým typem je rychlá neboli blesková pyrolýza (z anglického flash pyrolysis), která je používána pro maximální produkci plynné fáze. Při rychlé pyrolýze je dosahováno teplot 450-900 °C a tlaku 0,1 MPa. Rychlá je nazývána proto, že dochází k velice rychlému ohřevu surovin, ať už přímým či nepřímým způsobem. Tato se řadí k nejnovějším procesům přeměny biomasy na energeticky využitelné produkty, ačkoliv je stále ve fázi

výzkumu a vývoje. Charakteristická je pro ni i krátká doba setrvání částic v reaktoru. Jako příklad lze uvést experimentální cyklonový pyrolýzní reaktor – viz Příloha č.2. Při nižších pracovních teplotách vznikají převážně páry a aerosoly, které po rychlém zchlazení kondenzují na kapalinu, kterou je možno dále upravovat na motorové či jiné biopalivo. Při teplotách vyšších než 800 °C zase umožňuje vysokou produkci plynů. [6, 12]

Po skončení technologického procesu pyrolýzy jsou získány výsledné produkty, které je možné rozdělit mezi plynné, kapalné a tuhé. Ty pak představují výstupní produkty jako jsou tuhý zbytek (koks), pyrolýzní plyn, pyrolýzní olej jakožto organický kapalný produkt. [12, 13]

Složení plynu získaného pyrolýzou závisí především na vlastnostech materiálu použitého v pyrolýzním procesu, a na teplotě probíhající pyrolýzní technologie. Hlavními složkami plynu jsou metan, vodík, oxid uhličitý a oxid uhelnatý. Pyrolýzní plyn je ve většině případů využit ke zpětnému ohřevu pyrolýzních reaktorů. Lze jej však také použít k následné výrobě elektřiny pomocí kogenerační jednotky, do hořáků či jako pohonnou hmotu do aut ve formě LPG či CNG technologie. [2, 12]

Pyrolýzní olej lze využít především k rafinaci benzínu a nafty, a kromě toho se studuje i možnost využít jej k výrobě tepla, respektive elektřiny v kogeneračních jednotkách. Jeho vysoká kyselost však brání jeho spalování v klasických dieselových motorech. Přestože dehet obsahuje velké množství popelovin a uhlénoho prachu, jeho část lze v místě výroby objektivně využít jako palivo pro ohřev pyrolýzního reaktoru. Kapalné pyrolýzní produkty je možné hydrogenační a rafinační úpravou upravit do výše kvality srovnatelné s kvalitou pohonných hmot. [12, 13]

## **2.1 Podmínky pyrolýzního procesu**

Lze konstatovat, že nastavení správných provozních podmínek pyrolýzního procesu je více než nezbytné. Podmínky musí splňovat předpoklad zabránění rozkladu materiálu až na molekuly plynu tak, aby nedocházelo k polymerizačním reakcím, které by vedly ke vzniku dalších vysokomolekulárních látek. [12]

K hlavním pyrolýzním produktům patří polokoks, kapalné látky, pyrolýzní olej – někdy označovaný jako dehet a pyrolýzní plyn. Vlastnosti a množství všech pyrolýzních produktů závisí na podmínkách procesu. Jako podmínky lze vyjmenovat teplotu, tlak, rychlost ohřevu, dobu zdržení produktů v reakčním prostoru a konstrukci reaktoru. Obecně lze říci, že s rostoucí teplotou procesu klesá výtěžek polokoksu (se současně rostoucím obsahem popela v polokoksu) a roste také výtěžek prchavých látek. S rostoucí dobou zdržení klesá výtěžek kapalných produktů, a to z důvodu probíhajících sekundárních reakcí, kterými jsou termické krakování, polymerizace, kondenzace. [12]

V případě těžkého dehtu, jenž obsahuje velké množství popelovin a uhlénoho prachu, existuje možnost využití jeho části v místě výroby přímo jako palivo pro ohřev pyrolýzního reaktoru. [12]

Složení pyrolýzního plynu se odvíjí především od vlastností pyrolyzovaného materiálu a teploty pyrolýzy. Hlavními složkami plynu jsou metan, vodík, oxid uhličitý a uhelnatý. Pyrolýzní plyn, jak už bylo zmíněno, je ve většině případů využíván k ohřevu pyrolýzních reaktorů. Nutno podotknout, že pyrolyzovaná surovina by měla být vysušena, aby nedocházelo k dalšímu navýšení obsahu vody v pyrolýzním oleji, a dále by měla mít nízký obsah popela, který obvykle způsobuje zvýšení výtěžku polokoksu. [12]

## 2.2 Historie pyrolýzy

Největším problémem dnešní doby je bezesporu životní prostředí. Respektive jeho ochrana a budoucí zachování. Společnost se jej snaží udržet v takové formě, aby zůstalo prospěšné i pro budoucí generace. K tomu je však zapotřebí pozvednout jeho úroveň teď, aby v budoucnu bylo vůbec co zachovávat. Pomineme-li jeho typické znečišťovatele (ke kterým se řadí bezesporu i člověk sám) jako je vysoké množství emisí v ovzduší, ropné havárie či chemikálie obsažené nejen ve vodách, lze označit za ničující především všudypřítomný odpad. Ať už se jedná o skládky komunálních odpadů, tříděný odpad, dále nerecyklovatelný zbytek, nepotřebné pneumatiky, biologický (nemocniční) odpad, různé druhy olejů či biomasu, je nabitelné, že likvidace tohoto typu znečištění by byla přinejmenším prospěšná. Takovým řešením by mohla být právě pyrolýza, jež se zabývá

zpracováním odpadů a biomasy, přičemž výstupním produktem je pyrolýzní olej nebo plyn, který je možné nadále využít například k výrobě elektřiny. [1]

Pyrolýzu lze tedy obecně definovat jako energetické využití mnohých těžko odstranitelných odpadů šetrným způsobem k životnímu prostředí. Odborná definice pyrolýzy pak říká, že se jedná o termický<sup>1</sup> rozklad látek v inertním prostředí – čili bez přístupu oxidačního činidla jako je kyslík, vzduch, oxid uhličitý apod. [1]

Původ slova pyrolýza pochází z řeckého pyr (pyros) oheň a lysis neboli uvolňovat. Samotný původ pyrolýzního procesu je pak úzce spjat s prvotním zpracováním uhlí a počátkem průmyslové revoluce v 18. století. Avšak už ve století sedmnáctém někdejší sir Henry Platt přišel s myšlenkou odvíjející se od už běžně používané pyrolýzy dřeva a popisu postupu při zpracování uhlí. Tato spočívala v zahřívání dřeva při omezeném přístupu vzduchu v milířích, které nahradily pálení dřevěného uhlí v ohništích a jámách. Výsledný produkt se zprvu používal jen při topení či některých potravinářských procesech – jako příklad lze uvést pivovarnictví, neboť toto zušlechtěné palivo nevydávalo zplodiny, které by znehodnocovaly dále prodejné výrobky. O sto let později vešlo v povědomí, že koks je výborným redukčním činidlem při výrobě železa, což zapříčinilo rozběhnutí průmyslové revoluce, jelikož došlo ke zlevnění výroby železa a oceli. Postupně také docházelo k pokroku ve výstavbě vyspělejších pecí oproti primitivním milířům. [5]

Pyrolýza je průmyslově využívána od 19. století, jakožto proces nízkoteplotní karbonizace, dnes označován jako již známý pyrolýzní proces. Tehdy sloužil jako zdroj výroby olejů a parafinů. Začalo tedy docházet k rozvoji koksárenství, především na Ostravsku. [1]

Zásadní rozvoj v pyrolýzní technologii byl zaznamenán až v první polovině dvacátého století. Během druhé světové války byly totiž Německem vyráběny pohonné hmoty z hnědého uhlí pomocí termochemické konverze. Závod na výrobu pohonných hmot tímto způsobem se nacházel i v České republice, a sice v Záluží u Litvínova. Tento proces byl dvoustupňový. V prvním stupni se uhlí sušilo a předehřívalo proudem spalin na teplotu cca 200 °C v sušících komorách. Uhlí upravené tímto způsobem postupovalo následně do druhého stupně, kde se zahřívalo přímým kontaktem s horkým karbonizačním plynem na teplotu až 600 °C. Odváděné těkavé produkty se ochlazovaly. Z nich byl následně oddělen

---

<sup>1</sup> Tzn. působením tepla



těžký a lehký dehet a pyrolýzní olej. Lze tedy konstatovat, že byl v této době vyvinut základní prototyp moderních koksovacích pecí. [1]

V šedesátých letech minulého století vystřídala termochemickou konverzi – jakožto proces výroby paliva – ropa a její rafinace<sup>2</sup>. V poslední době je však možné pozorovat, že se tato technologie opět dostává do středu zájmu. Je významná nejen jako proces, který dosud není moc rozšířen a řadí se k těm méně známým, ale především jej lze považovat za jednu z alternativ k fosilním palivům, jakožto možnost zpracování odpadů a biomasy z důvodu jejich energetického využití. Jelikož celosvětově dochází ke snaze snížit energetické využívání fosilních paliv z důvodu řazení se k neobnovitelným zdrojům energie. [1]

## 2.3 Typy pyrolýzních technologií

Pyrolýzu lze technologicky využít pro zpracování jakéhokoli organického materiálu. V tomto případě se bude jednat o pyrolýzní technologii využívající biomasu jako surovinu. Technologii pyrolýzy lze označit jako materiálově-energetické využití odpadů v závislosti na konečném využití pyrolýzních produktů. Pyrolýzní a ko-pyrolýzní<sup>3</sup> procesy se v posledních letech rovněž dostávají do popředí zájmu v mnoha zemích světa. Konkrétně se jedná o Německo, USA, Kanadu, Japonsko, Rusko, a zastoupení existuje i v České Republice. Hlavním důvodem je nahrazení spotřeby fosilních paliv obnovitelnými zdroji energie. Na základě tohoto faktu dochází v posledních letech k rozvoji energetických systémů umožňujících zpracování biomasy, pneumatik, plastů, kalů z ČOV, SKO a jiných materiálů, které mají vyšší obsah uhlíku, spalitelných látek, vyšší výhřevnost a nízký obsah popelovin. [13]

### 2.3.1 Technologie Carbo-V

Tato technologie pojednává o novém způsobu výroby motorových paliv (konkrétně jde o bionaftu) z odpadní biomasy, který je založen na principu pyrolýzy. Proces má tři stupně,

---

<sup>2</sup> Neboli čištění, vzniká rafinovaný produkt

<sup>3</sup> Tzn. společné tepelné zpracování dvou a více materiálů

a sice prvním je nízkoteplotní pyrolýza, druhým štěpení dehtů a posledním je Fischer-Tropschova syntéza, která představuje produkci kapalných paliv. [13]

Plyn vyrobený pyrolýzou suroviny obsahuje vysoké koncentrace dehtu, a proto je veden do vysokoteplotního reaktoru označeného Carbo V, kde se štěpí v prostředí kyslíku. Do spodní části reaktoru je přiváděn polokoks<sup>4</sup> z pyrolýzního stupně, který reaguje s oxidem uhličitým nebo vodní parou, a tím dochází k okamžitému zchlazení plynu. Z plynu se po vyčištění a úpravě pomocí Fischer-Tropschovy syntézy syntetizují kapalná paliva. [13]

### 2.3.2 BTG technologie

Tato technologie byla vyvinuta holandskou společností Biomass TechnologyGroup (Technologická skupina pro biomasu). Tato technologie stojí na základě pyrolýzy biomasy, která je ve speciálním otočném trychtýři promíchávána s teplosměnným médiem, kterým je písek. V takto navrženém reaktoru není potřeba profukovat biomasu inertním plynem. Míchání je prováděno mechanicky, což má za následek důkladné promíchání vstupní biomasy. Plyn z reaktoru je následně prudce zchlazen v kondenzátoru, čímž vznikne pyrolýzní olej a menší množství pyrolýzního plynu. Primárními produkty procesu jsou tedy pyrolýzní olej čili bio-olej, kterého může být až 75 % z původního množství vstupní suroviny, dále pak tuhá složka a pyrolýzní plyn využitelný pro energetické účely, např. ve spalovacích motorech. [3, 13]

Písek je společně s pyrolýzním uhlím dopraven do spalovacího zařízení, kde je spálením pevné fáze ohřát, a následně znovu použit v reaktoru. Pyrolýzní olej získaný touto technologií se spaluje v olejovém hořáku za účelem produkce tepla. Dvě pilotní jednotky jsou provozovány v Holandsku k pyrolýze biomasy a jedna komerční se nachází v Malajsii, kde jsou jako vstupní suroviny pro pyrolýzní proces využívány vysušené slupky a vlákna z kokosových ořechů. Tento proces je zaměřen na získávání maximálního množství bio-oleje. Vzniklý pyrolýzní plyn je spalován a uvolněné teplo se využívá k výrobě páry. Schéma lze nalézt v Příloze č.1. [14]

---

<sup>4</sup> Tzn. tuhý produkt nízkoteplotné karbonizace uhlí

### **2.3.3 Technologie HAAM**

Tato pyrolýzní technologie využívající jako vstupní surovinu odpadní biomasu a jiné zemědělské materiály je instalována v Dortmundu. Jednotka je připojena přímo na hlavní uhelný kotel 3. bloku elektrárny Westfalen. K pyrolýze dochází v rotačním bubnu, na jehož konci je prostřednictvím síta rozdělen pevný produkt pyrolýzy na jemnou a hrubou frakci. Vzniklý pyrolýzní plyn je přímo veden do uhelného kotle. Jemný pyrolýzní uhlík je spolu s uhlím nejprve rozemlet na uhelných mlýnech a následně přiváděn do uhelného kotle. Pevný a plynný produkt nahrazují cca 10 % konvenčního paliva, tedy uhlí. [13]

### **2.3.4 Technologie Babcock**

Tento proces je kombinací pyrolýzy a řízeného spalování. Byl navržen k odstranění směsného komunálního odpadu a kalů z čistíren odpadních vod. Pyrolýzní proces probíhá v nepřímě ohřivaném bubnu. Vznikající plyn je poté v cyklonu zbaven většinového podílu tuhých částic a vstupuje do spalovací komory, kde je spalován. Vznikající spaliny se využívají k vlastnímu ohřevu pyrolýzní pece, zbytková entalpie spalin je následně využívána v kotli na odpadní teplo. [13]

### **2.3.5 Technologie KARBOTECH**

Tento typ technologie je v provozu v České Republice. Pracuje na principu nízkoteplotní pyrolýzy, při které jsou vstupní suroviny ve formě odpadní biomasy (rostlinného i živočišného původu) rozkládány za vzniku pyrolýzních plynů. Tyto plyny se pak v technologii využívají k ohřevu systému společně se spalinami či odpadním teplem jiných provozů, což lze považovat za významnou přednost tohoto systému. Na základě tohoto principu je možné zpracovat větší množství biomasy o nižší výhřevnosti. V procesu díky tomu zůstává dostatek energie pro předsušení suroviny vstupující do systému. Pevný zbytek neboli biouhlík obsahuje až 95 % uhlíku v amorfni stabilní formě. Tento se ukládá do půd, které zušlechťuje, tím že zadržuje živiny, vodu aj., a brání tak jejich vyplavení z půdy. Tato technika původně pochází z Amazonie od tamních obyvatel, kteří z neúrodné jalové půdy vytvořili úrodnou černozem tzv. TERRA PRETA. [13]

### 3. Materiály vhodné pro pyrolýzní proces

Pyrolýza má nespornou výhodu v typu vstupní suroviny, kterou mohou být jak nepřeberná množství odpadů, tak i uhlí nebo biomasa. Jde tedy o proces šetřící životní prostředí, jelikož likvidace jakéhokoliv nežádoucího materiálu anebo organických zbytků k její renovaci bezesporu přispívá. Odpad jako takový je definován v zákoně č.185/2001 Sb. Zákona o odpadech, jakožto movitá věc, které je osoba povinna (nebo má úmysl) se jí zbavit, dále se jedná o věc, jenž je nepotřebná, skončila jí životnost či může být nebezpečná a je stanovena nějakou sociální a geografickou mezí. Ke zpracování pyrolýzy lze tedy použít tyto odpady:

- vytríděné složky komunálního odpadu,
- pneumatiky, pryže,
- plasty (polymery),
- části autovraků (těsnění z oken, nádoby do ostřikovačů, barevné části světel),
- uhlí,
- biomasa (dřevní štěpka, piliny, hobliny, sláma atd.),
- kaly z ČOV a brusné kaly.

Každý materiál, který považujeme za odpadní, se vyznačuje charakteristickými vlastnostmi a složením. Pyrolyzovat lze tedy jakýkoliv organický materiál, obsahující uhlík v různých formách a sloučeninách. Odpadní materiály a látky v nich obsažené jsou velice různorodé. [10, 13]

V této práci se však zabývám konkrétně pyrolýzním procesem pro zpracování biomasy, konkrétně dřevní štěpky.

#### 3.1 Biomasa

Biomasa se definitivně řadí mezi obnovitelné zdroje energie, což dokládá Zákon č.458/2000 Sb. Lze také konstatovat, že patří mezi zdroje, jejichž energetický potenciál se trvale a samovolně obnovuje přírodními procesy. Biomase je tedy možné definovat jako organickou hmotu rostlinného nebo živočišného původu. Za základní komponenty biomasy jsou považovány biopolymery – celulóza, hemicelulóza a lignin. Složení, a tedy i vlastnosti

a využitelnost biomasy, jsou závislé na jejím druhu. Lze ji získávat jako odpad ze zemědělství anebo průmyslové činnosti nebo jako komunální odpad, může být také výsledkem záměrné výrobní činnosti a pěstování v zemědělství a lesnictví. Biomasa se řadí jakožto nefosilní zdroj energie používaný lidmi k nejrozšířenějším a nejstarším. [13]

Biomasou se rozumí především dřevo a různorodý dřevní (nejen) odpad, resp. jiné energetické rostliny vhodné pro spalování v různých topeništích, jako jsou zemědělské produkty a jejich zbytky nebo cíleně pěstované energetické rostliny. Skladba rostlinné biomasy je přibližně následující: 40–45 % celulózy, 25–45 % hemicelulózy a 15–30 % ligninu. Kromě celulózy a hemicelulózy, které souhrnně nazýváme holocelulóza a ligninu, obsahuje dřevní hmota (biomasa) další látky a složky jako organické látky terpeny, vosky, tuky, steroly, pryskyřice, tříslovinu, sacharidy, aminy, proteiny, škroby, nukleové kyseliny, aminokyseliny, karboxylové kyseliny a jejich deriváty. Na každou rostlinu, tedy na květinu, bylinu, keř nebo strom, lze pohlížet jako na budoucí zdroj energetické biomasy. Které plodiny je možné využít právě k výrobě energie lze nalézt v Příloze k nařízení vlády č.80/2007 Sb. [2, 13]

Všeobecně známý je bezesporu i vliv biomasy na globální ekosystém. Pokud je biomasa využívána pro energetické účely, spálením se uhlík dostává do atmosféry a může být opět uložen do rostlinné tkáně, resp. může být také vdechnut do těl živočichů. Produkty vznikající spalováním biomasy jsou vráceny zpět do čistého koloběhu a jsou tedy vůči člověku, okolí a přírodě přátelské. [2]

Rovněž je zapotřebí zmínit vznik bioplynových stanic, které k výrobě elektrické energie využívají různých forem biomasy. Například z 1 tuny biologických odpadů lze získat průměrně 340 kWh, z 1 tuny močůvky (z hovězího a vepřového dobytka) lze získat 60 kWh, z 1 tuny trávy lze získat 320 kWh elektrické energie. Ze všech uvedených obnovitelných zdrojů energie, pouze jediný zdroj – rostlinná biomasa produkuje kyslík. Jiný obnovitelný zdroj energie nemá pro tvorbu kyslíku význam. To je velmi důležitý faktor, který dělá z rostlinné biomasy pozoruhodný víceúčelový zdroj. [2]

Produkce biomasy nemusí být využívána pouze pro spalování, resp. pro ohřev vody, vzduchu a pro parní turbíny roztáčeující hřídele generátorů vyrábějících elektrickou energii. Dřevní hmota, zpracovaná v různých formách, může být využita pro výrobu kompostů, pro farmaceutický průmysl, pro výrobu obalového materiálu, částí nábytku, částí izolačních

stavebních desek, pro rozšíření vlastních pěstebních ploch a pro prodej stavebního materiálu. V závislosti na předpokládaném využití musí být zvolena vhodná technologie sklizně, výroby a skladování. [2]

Nejvyšší účinnosti dosahuje biomasa při využití pro produkci tepla – více než 90 %. Velmi často se biomasa využívá v kogenerační výrobě, což znamená při kombinované výrobě elektřiny a tepla (účinnost 50-90 %). Při čisté výrobě elektřiny se účinnost pohybuje pod 50 %. Biomasa je velmi často využívána jako zdroj tepelné energie v domácnostech, ať už jako kusové dřevo, nebo ve formě pelet či briket ve speciálních kotlích. [1]

Energii z biomasy lze získat:

- termochemickou konverzí (tzv. suchým procesem), to znamená spalováním, zplyňováním a pyrolýzou
- biochemickou konverzí (tzv. mokřím procesem), to znamená anaerobní fermentací, aerobní fermentací nebo alkoholovou fermentací
- fyzikálně-chemickou konverzí, to znamená esterifikací bioolejů [2]

Biomasu lze rozdělit dle vlastností na suchou, jež je možno spalovat přímo, vlhkou, kterou představují tekuté odpady, nelze ji přímo spalovat a je využívána k výrobě bioplynu, a posledním typem je speciální charakteristická pro olejninu a škrobové a cukernaté plodiny, určená k získávání energetických látek, přičemž výstupním materiálem je bionafta a líh. Biomasu lze dále rozdělit na pěstovanou pro energetické účely a odpadní. [1]

### **3.1.1 Biomasa pěstovaná pro energetické účely**

Pod tento typ spadají především rychle rostoucí dřeviny (topol, vrba, olše) nebo rostliny bylinného charakteru (konopí, šťovík). Jejich předností je snadný výsev, krátké vegetační období a možnost využití i na neenergetické účely. Dále zde patří travní porosty, obiloviny, olejnaté rostliny (řepka olejná, slunečnice, len) – pro výrobu surových olejů a metylesterů či škrobo – cukernaté rostliny jako je cukrová řepa, cukrová třtina anebo brambory. [1]

### 3.1.2 Odpadní biomasa

V tomto případě se jedná o tyto druhy:

- z rostlinné výroba (zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny, odpady ze sadů a vinic, kukuřičná sláma, řepková sláma a veškeré další odpady a zbytky z likvidace křovin),
- z živočišné výroby (exkrementy hospodářských zvířat, zbytky krmiv – hnůj, močůvka, kejda),
- z těžby a zpracování dřeva a lesní odpady (větve, kůra, pařezy, kořeny, odřezky, piliny, hobliny),
- biologicky rozložitelný komunální odpad (zbytky potravin, papírové obaly),
- biologicky rozložitelný průmyslový odpad (odpady z jatek, výroby cukru mouky, papíru),
- splašky z kanalizace. [2]

## 4. Produkty pyrolýzy

Jak už bylo zmíněno, hlavními produkty pyrolýzy jsou pevný zbytek, kapalný podíl a plyn. Pevný zbytek je charakterizován jako koks nebo polokoks. Za kapalný podíl lze považovat dehet, lehké uhlovodíky, vodu nebo olej. V neposlední řadě lze vyrobit plyn v podobě vodíku, methanu, vyšších uhlovodíků, oxidu uhelnatého a uhličitého, a další řadu látek. Vedle výsledných produktů vznikají i produkty nežádoucí čili vedlejší. [16]

Hlavním, a také jediným cíleným produktem tohoto pyrolýzního procesu, při použití štěpky jako vstupního materiálu, je plyn. Tento bude využíván k výrobě tepla skrze kogenerační jednotku, a následné výrobě elektrické energie. V případě, že ho bude dostatečné množství, bude tento přebytek ekonomicky využit ke zpětnému ohřevu pyrolýzní jednotky, čímž se značně sníží provozní náklady.

Výše kvality vyrobeného plynu se odvíjí od kvality použitého paliva – v tomto případě jde o dostatečné vysušení dřevěné biomasy, od požadavků konečného spotřebitele, anebo od schopnosti plyn vyčistit od vedlejších produktů, které bezesporu při pyrolýzním procesu vznikají.

### 4.1 Možnosti čištění pyrolýzního plynu

Plyn získaný pyrolýzním procesem obsahuje nečistoty, které je nutné odstranit. Není to chyba pyrolýzního procesu, neboť nečistého produktu dosáhneme i při spalování či zplyňování. Základním požadavkem je, aby výsledný plyn byl kvalitní a opravdu čistý. Nečistoty totiž způsobují nejen provozní problémy jednotlivých jednotek, ale i ucpávání potrubí a armatur nebo třeba poškození (zadehtování) motorů a turbín. Výše zmíněné závady mohou zapříčinit vážné poruchy technického zařízení. [16]

Požadavky na výši kvality vyrobeného plynu se liší. Záleží na druhu zařízení, které bude plyn dále užívat nebo třeba i na konkrétním výrobcí daného zařízení. Nároky na kvalitu plynu stoupají také dle typu spotřebiče plynu počínaje hořáky, přes spalovací pístové motory a plynové turbíny, až po palivový článek Plyn lze spalovat přímo



v plynovém kotli, ve spalovacím motoru, ve spalovací plynové turbíně, a dokonce probíhá vývoj v oblasti použití plynu pro palivový článek nebo na výrobu kapalných paliv. [16]

Nežádoucí nečistoty ve vyrobeném pyrolýzním plynu představují tuhé znečišťující látky a kapalné uhlovodíky (zbytkový pyrolýzní olej). Odstranění ani jednoho z nich není snadnou záležitostí. Tuhými znečišťujícími látkami jsou myšleny tuhé fáze zahrnující nezreagované částice paliva (čímž je polokoks) a anorganické látky jako je popel a prach. [16]

Zbytky pyrolýzního oleje v plynu (připomínající dehet) představuje z nežádoucích produktů jednoznačně nejproblematictější složku plynu vznikající při použití plynu v kogeneračních jednotkách. Z tohoto důvodu je problematika zbytkového pyrolýzního oleje jedna z nejvíce sledovaných oblastí. Pyrolýzní olej představuje pestrou směs organických látek se složením závislým na konstrukci a provozních podmínkách reaktoru. V případě, že je tento olej ve formě par, nepředstavuje pro plynové turbíny zásadní problém a jeho množství není limitující. [16]

## 5. Další způsoby výroby plynu

Kromě pyrolýzy lze zpracovat plyn i jinými formami. Tyto termické procesy jsou proto

dále děleny do dvou kategorií, a to na:

- procesy oxidativní – v reakčním prostoru je obsah kyslíku stechiometrický nebo vyšší vzhledem ke zpracovávanému materiálu (jde o případ nízkoteplotního a vysokoteplotního spalování),
- procesy reduktivní – v reakčním prostoru je obsah kyslíku nulový u pyrolýzy a podstechiometrický v případě zplyňování. [2]

K tomuto rozdělení je však třeba dodat, že některé, zejména zplyňovací procesy, nepoužívají jako oxidační médium kyslík, ale jiné oxidanty jako jsou vzduch, případný oxid uhličitý nebo voda. [2]

Většina v současné době provozovaných pyrolýzních systémů je založena na termickém rozkladu odpadu v rotační peci vytápěné zevně spaliny, které vznikají z následného spalování pyrolýzních plynů v tzv. termoreaktoru. Ten je přizpůsoben pro odpad, který nemá příliš vysoký obsah škodlivin a nemá tak tendenci ke spékání. Zbytek energie ze spálení plynů, která se nespotřebuje na ohřev vsázky<sup>5</sup>, se využívá v kotlích na odpadní teplo k výrobě páry či teplé užitkové vody. Jiný, modernější přístup, předpokládá využití pyrolýzního plynu jako chemické suroviny nebo jako topného plynu např. pro motory kogeneračních jednotek. [2]

Zplyňování je značně komplikovaná termochemická přeměna paliva za nedostatku kyslíku, při které vzniká plyn s nízkou výhřevností. Tento vzniklý plyn může být spalován například v pístových spalovacích motorech kogeneračních jednotek, nebo ve spalovacích turbínách. Zplyňování probíhá tak, aby se co největší podíl energie z paliva transformoval do energetického obsahu plynu. Výhodou zplyňování oproti přímému spalování je lepší využitelnost technologie pro výrobu elektrické energie s větší účinností a nižšími emisemi. Výhodou zplyňování oproti přímému spalování je lepší využitelnost technologie pro výrobu elektrické energie s větší účinností a nižšími emisemi. [2]

---

<sup>5</sup> Tzn. kovové i nekovové suroviny (popř. i tuhá paliva) zavážené ve vhodném, předem stanoveném vzájemném poměru do vysoké pece

Při srovnání spalovacího procesu, kdy se chemická energie obsažená v palivu transformuje na tlakovou energii páry nebo vody, dochází při zplyňování k transformaci na jiný druh chemické energie, která se váže na plynnou fázi. Dochází k tepelné rovnováze mezi reakcemi spotřebovávajícími teplo (endotermickými) a reakcemi produkujícími teplo (exotermickými). Proces zplyňování se skládá ze sušení, pyrolýzy, redukce a oxidace. Tyto dílčí postupy mohou probíhat buďto postupně v sesuvných generátorech, anebo souběžně ve fluidních a hořákových generátorech. Teplo může být do procesu dodáváno přímo přes částečné spalování biomasy v reaktoru, ale také nepřímě, jakožto přísun tepla zvenku. [8]

Zajímavostí je, že již deset let probíhá v Energetickém ústavu na Vysokém učení technickém v Brně výzkum zplyňování biomasy. Výzkum probíhá na experimentální jednotce fluidního zplyňování BIOFLUID 100. Jedná se o atmosférický fluidní generátor plynu se stacionární fluidní vrstvou, který může pracovat ve spalovacím i zplyňovacím režimu. Palivem je dřevní štěpka, případně tříděný komunální odpad. Palivo je šnekovým dopravníkem dopravováno do reaktoru. Do reaktoru je také přiváděn zplyňovací vzduch ve třech stupních, primární vzduch je přiváděn pod rošt a udržuje fluidní vrstvu. Zplyňování probíhá v rozmezí 750 až 900 °C, produkovaný plyn je následně zbaven úletu v cyklonu a před vstupem do spalovací komory je dále čištěn. Na experimentální jednotce probíhal výzkum týkající se stanovování parametrů vybraných biopaliv ve vztahu k fluidnímu zplyňování, dále pak výzkumy spjaté s primárními a sekundárními metodami pro degradaci dehtu a čištění plynu, a to hlavně s přispěním katalytických filtrů. [8]

Produktem zplyňování biomasy je hořlavý plyn čili takový, který obsahuje výhřevné složky jako je vodík, oxid uhličitý, methan ap. Zplyňování může probíhat jak v generátorech s pevným ložem, tak ve fluidních generátorech. První z výše zmíněných metod zplyňování je jednodušší, méně investičně náročná, avšak je použitelná jen pro malé tepelné výkony. V tomto případě zplyňování probíhá při nižších teplotách (kolem 500 °C), za atmosférického tlaku ve vrstvě biomasy. Vzduch jako okysličovací médium proudí buď v souproudu (směr dolů) nebo v protiproudu (směrem nahoru) vzhledem k postupnému pohybu zplyňovaného biopaliva. Popelové zbytky se odvádějí ze spodní části reaktoru. Nevýhodou tohoto systému je značná tvorba dehtových látek, fenolů aj., jejichž odstranění je pak největším problémem. [9]

Druhá výše zmíněná metoda znamená zplyňovací proces při teplotách 850 až 950 °C. Souběžně zde probíhá vývoj ve dvou základních směrech – a to zplyňování při atmosférickém tlaku, anebo v tlakových generátorech při tlaku 1,5 až 2,5 MPa. [9]

## 6. Popis experimentálního zařízení PYROMATIC

Jak už bylo zmíněno, v ČR se energeticky využije pouze 20 % komunálního odpadu ve třech spalovnách. S inovativním řešením, jak využít přebytečný odpad, jehož je všude přebytek, ale upotřebení klesá, přinesl zrod zkušební jednotky fungující na principu pyrolýzní jednotky. Autory jsou Vysoká škola báňská ve spolupráci s dalšími firmami. Oním odpadem, jenž představuje vstupní materiál jsou použité pneumatiky, plasty a různé druhy biomasy. Vznikla tak další možnost, jak energeticky využít nežádoucí odpad v zase trochu větší míře než doposud. [1, 13]

První experimentální jednotka na zpracování odpadu byla tedy vyvinuta v Ostravě roku 2005 ve spolupráci VŠB-TUO se společností Arrow line a.s. a nesla název PYROTRONIC. Provoz byl prováděn kontinuálně a maximální teplota dosahovala 650 °C. Tato jednotka byla schopná zpracovat 5 kg odpadního materiálu za 1 hodinu a sloužila k ověření základních poznatků a možnosti vyloučení odpadních materiálů. Takto provedená měření poskytla množství uspokojivých výsledků, potažmo informací, jež pomohly při vývoji nového prototypu pyrolýzního zařízení, které bylo pojmenováno PYROMATIC. [13]

Nový projekt vývoje pyrolýzního zařízení byl zahájen roku 2008, opět ve spolupráci VŠB-TUO a tentokrát klastru Envicrack, který sdružuje více než dvě desítky firem zejména ze severní Moravy, ale i Polska a Slovenska. Aktivní členové klastru vyvíjejí společně s VŠB již několik let technologii pro zpracování odpadů prostřednictvím pyrolýzy s následnou výrobou elektrické energie a tepla. Předpokládá se, že pyrolýzní jednotka, která je ve stadiu testování prototypu, by mohla do značné míry řešit problém odpadních plastů i vysloužilých pneumatik. Jedná se o progresivní způsob získávání energie, přičemž nemalou výhodou je možnost zpracovávat celou řadu organických odpadů, také dřevní štěpku, seno, tříděný odpad, pneumatiky, nemocniční odpady, nebo kaly. Uvažuje se také o kopyrolýze fosilních paliv, která nejsou vhodná pro energetické účely a kterých jsou dostatečné zásoby. [2, 13]

Roku 2009 byla tato pyrolýzní technologie přepravena do Technologického centra Ostrava, kde se započaly montážní a sestavovací práce. Tento unikátní systém zpracovává odpad bezpečně a bez přítomnosti oxidačních medií. Proces je rovněž automatizován

a pracuje při teplotách od 500 do 800 °C, za atmosférického tlaku. Dávkování materiálu je opět kontinuální a zvládá od 50 do 250 kg za hodinu dle druhu materiálu, za účelem degradace a zisku energeticky hodnotných produktů. Rozměry materiálů určených k pyrolyzování však mnohdy velikostně neodpovídají, a proto musí být před nadávkováním do násypky upraveny drcením na správnou granulometrii. Takto nadrcený materiál vstupuje do rekční komory, která se ohřeje, a následně dochází k čištění a ochlazení vyprodukovaného pyrolýzního plynu na teplotu okolí. Po vyhřátí pyrolýzní jednotky na požadovanou teplotu, je materiál z násypky dopravován regulovatelným šnekovým dopravníkem do vlastní pyrolýzní jednotky. Pro zajištění kontinuity provozu je materiál v reaktoru posouván dvěma primárními šneky a jedním sekundárním, který je situován v dolním „patře“ reaktoru a vede materiál k výstupu. Důvodem třetího šnekového podavače je zajištění dostatečného času pro celý pyrolýzní proces. Změnou rychlosti otáček šneku lze měnit dobu zdržení materiálu v aktivní zóně retorty od 30 do 90 minut. Teplo pro ohřev retorty je dodáváno nepřímým vytápěním z pěti plynových hořákových sekcí, které jsou umístěny za sebou pod tělesem retorty. Retorta dosahuje celkové délky 4000 mm a hmotnosti 2500 kg a je zkonstruována ze speciální žáruvzdorné austenitické oceli. Jako topný plyn je používán propan, případně zemní plyn. Maximální tepelný příkon pyrolýzní jednotky je požadován 200 kW, tedy max. 40 kW na jednu hořákovou sekci.

Vzniklý pyrolýzní plyn je z retorty odváděn přes cyklon, kde se oddělují tuhé znečišťující látky a plyn je následně veden do dvou chladičů, a to vzduch – pyrolýzní plyn a voda – pyrolýzní plyn. V průběhu chlazení plynu dochází ke kondenzaci některých uhlovodíků. Jejich vlastnosti závisí především na složení pyrolyzovaného materiálu. Ochlazený plyn je veden přes průtokoměr do spalovacího či retenčního zařízení. Po těchto úpravách lze plyn akumulovat v plynojemu nebo přímo využívat. V současné době je plyn volně spalován nepřímým ohřevem pomocí hořáků. Pyrolýzní kapalina je zachycována do nádoby pro pyrolýzní olej, kde je neustále promíchávána, aby nedocházelo k sedimentaci těžkých uhlovodíků. Tuhá fáze (tedy pyrolýzní uhlík) je shromažďována v uhlíkovém boxu, který je umístěn na konci pyrolýzní trasy. Spalovací vzduch je do jednotlivých sekcí přiváděn otvory pod hořáky. Prívod spalovacího vzduchu lze regulovat jednak na vstupu nebo otáčkami spalínového ventilátoru. Celý systém je řízen počítačem z velínu, který je umístěn v přilehlé místnosti. Viz příloha č.3. [13]

## 7. Způsoby čištění pyrolýzního plynu

Významnou roli při výrobě plynu či jakéhokoliv jiného média, které slouží k další spotřebě, hraje bezesporu jeho čistota. Ačkoliv je to poměrně složitý proces, nesmí být opomenut. Kromě čištění výsledného produktu, je zohledněna i příprava paliva, aby bylo dosaženo co největšího efektu, bez zbytečných ztrát, prevence poruchy či poškození pyrolýzní jednotky, a zejména pak kvality získaného plynu. Nejčastěji používaným typem paliva v pyrolýzním procesu je biomasa. Jednotlivé druhy biomasy se však liší svým chemickým složením, fyzikálními vlastnostmi a reaktivitou složek, čímž je zapříčiněna vysoká různorodost u výsledných produktů pyrolýzy. Rovněž je známo, že díky vyššímu obsahu kyslíku a termicky labilních polymerů (celulosa, hemicelulosa), je biomasa podstatně reaktivnější než hnědé uhlí. Jako nejvhodnější palivo se posléze prokázala dřevní biomasa. Přitom je třeba brát v potaz, že pro biomasu a odpady začínají pyrolýzní reakce při teplotách od 300 do 375 °C.

Právě kvalita použitého paliva má vliv nejen na stabilní chod procesu, ale především na konečný stupeň kvality získaného plynu. Pyrolýzní jednotka, která by byla schopná zpracovat jakýkoliv druh paliva, od biomasy přes plasty až po odpad, a to bez provozních problémů a efektivně, nebyla (zatím) vyvinuta.

Také je nezbytné zohlednit, jaký typ paliva je která pyrolýzní jednotka schopna zpracovat. Pyrolýzní jednotka zkoumaná v této práci využívá k výrobě pyrolýzního plynu pouze dřevní biomasu v podobě dřevní štěpky.

Důležitým faktorem je i vhodný způsob ohřevu pyrolýzního reaktoru. Rozhodující parametry pro správný výběr paliva jsou například výhřevnost, míra tepelného využití, vznikající nežádoucí látky a jejich koncentrace, míra vzniklého znečištění, cena paliva a jeho dostupnost.

Palivo pro ohřev reaktoru, které při tomto technologickém procesu je významné už jen z toho důvodu, že díky správnému použití lze šetřit na provozních nákladech. V tomto případě je pro ohřev pyrolýzního reaktoru použit zemní plyn, avšak při perspektivní výrobě pyrolýzního plynu, lze jeho část – jedná-li se o přebytek – použít ke zpětnému ohřevu pyrolýzní jednotky.

Dosavadní praxí bylo zjištěno, že dřevní biomasa se osvědčila jako nejvhodnější palivo, a to z více hledisek. Jakýkoliv vstupní materiál, použitý při tomto technologickém procesu, je nutné co nejvíce vysušit, aby byl vyroben dostatečně kvalitní produkt. Voda obsažená v palivu výrazně snižuje kvalitu vyrobeného produktu (plynu). Z tohoto důvodu je nutné palivo vysušit, což je energeticky náročné a finančně nákladné

Vyroběný plyn obsahuje nečistoty, které je zapotřebí odstranit, aby bylo možné jej dále energeticky využít. Čištění je také nezbytnou součástí v případě použití plynu v motoru kogenerační jednotky. Odstranění nečistot se pro každou nečistotu mírně liší. Nečistoty pyrolýzního procesu je možné rozdělit do dvou skupin. První nese zkratku TZL, a znamená tuhé znečišťující látky, které vystupují z reaktoru. Druhým typem nečistot jsou kapalné uhlovodíky připomínající jak podobou, tak vlastnostmi dehet, jejichž technický název je pyrolýzní olej. Jeho složení a koncentrace závisí na rozložení reakčních podmínek v reaktoru, reakční teplotě a tlaku, době setrvání při dané teplotě, a do jisté míry i na fyzikálně-chemických vlastnostech paliva. Konkrétní obsah dehtu představuje pestrá škála látek a není snadné jeho chemickou skladbu definovat.

## 7.1 Nástroje použité k čištění plynu

Nečistoty obsažené v plynu představují nezreagované částice paliva (polokoks), zbytkový popel, prach či jiné drobné částice, které je nutno odstranit. Typické chemické složení prachu z tuhého pyrolýzního zbytku získaného pomalou pyrolýzou je 80 až 85 % tuhého uhlíku, 15 až 20 % prchavých látek a 0 až 2 % popela. Obsah popela se odvíjí od obsahu popelovin v biomase, zatímco obsah prchavých látek závisí na pyrolýzních parametrech.

Hlavním zdrojem TZL jsou nečistoty obsažené právě v palivu – jako je materiál přimíchaný do paliva či nedokonale zreagované palivo, tedy zbytek uhlíku, ale také popeloviny. Z toho důvodu je nejčastějším případem pro vyčištění připojení cyklónového odlučovače za reaktor. A to za účelem oddělení částic větších rozměrů. Jemnější částice ale setrvávají v plynu a společně s dehtem způsobují problémy, jako jsou lepivé a těžko odstranitelné nánosy na stěnách jednotlivých přístrojů, čímž dochází ke zvyšování tlakové ztráty technologie a může dojít až k úplnému zneprůchodnění potrubí či celého zařízení.



Nedokonale zreagované palivo (pyrolýzní uhlík) utvoří výše popsané tuhé částice, které je nezbytné odstranit. V kombinaci s dehtem totiž utvářejí těžko odstranitelné nánosy, což má za následek ucpání potrubí. K odstranění hrubých částic prachu bývá použit cyklonový odlučovač.

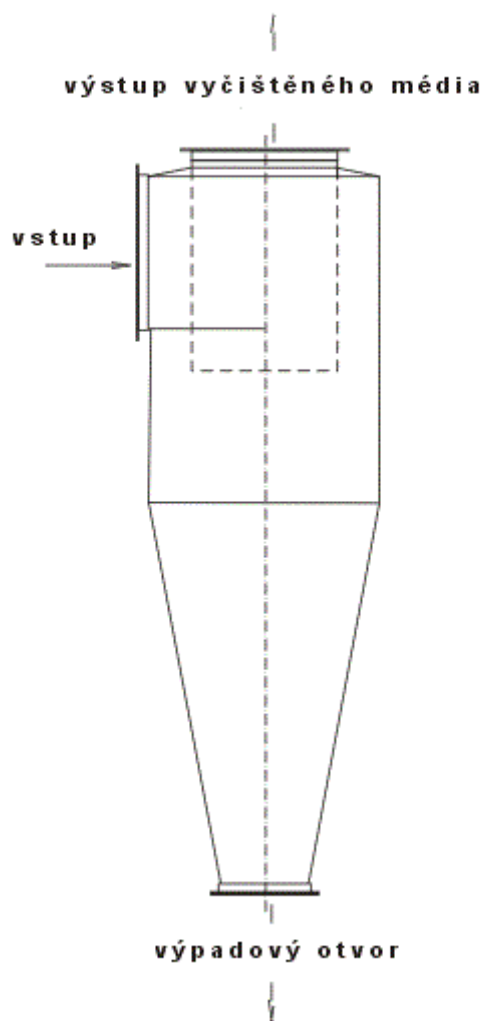
### 7.1.1 Cyklonový odlučovač

Toto zařízení je určeno k oddělování prachových částic z proudu vyrobeného plynu. Má tři vstupy potažmo výstupy. Nádoba má tvar válce s protáhlým kuželovitým dnem, které se zužuje a je zakončeno otvorem pro odvoe tuhých znečišťujících látek. Kužel by měl být pro potlačení svých negativ dlouhý a mírně se zužující.

Proud plynu vstupuje do cyklonu v jeho horní části v tzv. tečném (tangenciálním) směru, a postupuje dále krouživým neboli rotačním pohybem směrem dolů ke kuželovité části, kde jsou následně z plynu odloučeny tuhé částice. K jejich oddělování je použita odstředivá síla působící na částice, které se následně shlukují na vnější stěně a padají dolů do sběrače tuhých znečišťujících látek (neboli pyrolýzního uhlíku). Tento stlačující se odlučovaný materiál v kuželové části cyklonu však delší dobu rotuje, čímž zvyšuje opotřebení dolní výpadové části abrasí a je náchylný na přetížení odlučovače za provozu, kde dochází až k zaslepení dolního výpadového otvoru, čímž je prakticky odlučovač vyřazen z provozu. Medium takto zbavené tuhých nečistot projde kuželovou částí zpět směrem vzhůru a vychází třetím (posledním) otvorem umístěným nahoře kolmo na cyklonu. Výše popsaný je klasický cyklonový odlučovač s běžnou konstrukcí, viz. Obr.č.1. Bezesporu je zapotřebí zmínit, že cyklonový odlučovač sám nestačí splnit požadavky na čistotu plynu tak, aby bylo možné jej použít třeba jako medium v kogeneračních jednotkách.

V dnešní době existuje nová konstrukce cyklonu-odlučovače, u níž není potřeba kuželové části. Skládá se tedy pouze z nádoby válcového tvaru a k uzavření vzestupného proudu plynu je zde použito aerodynamické kuželové těleso, které v dolní části odlučovače uzavírá středovou oblast podtlaku, čímž nahrazuje řešení klasického cyklonu, ale nepřebírá jeho nedostatky. Medium po vstupu do odlučovače pokračuje v sestupném rotačním pohybu, přičemž odlučovaný materiál je bez shlukování volně donesen na okraj

výpadového otvoru, který je po obvodu pláště cyklonu, v místě pod úrovní aerodynamického tělesa. Zde odstředivě odhozen opouští odlučovač. Výhodou je např. až dvojnásobný odlučovací výkon, při přetížení nedochází k vyřazení z funkce, pouze je zhoršena účinnost a rychlost prostupu odlučovačem snižuje opotřebení dolní části abrasí. Tento cyklonový odlučovač však nebude pro potřeby této bakalářské práce použit.



**Obrázek 1 - Schéma cyklonu**

**Zdroj:** <http://www.lisnice.com/basic1.php?a=3>

### 7.1.2 Mokr vypírka

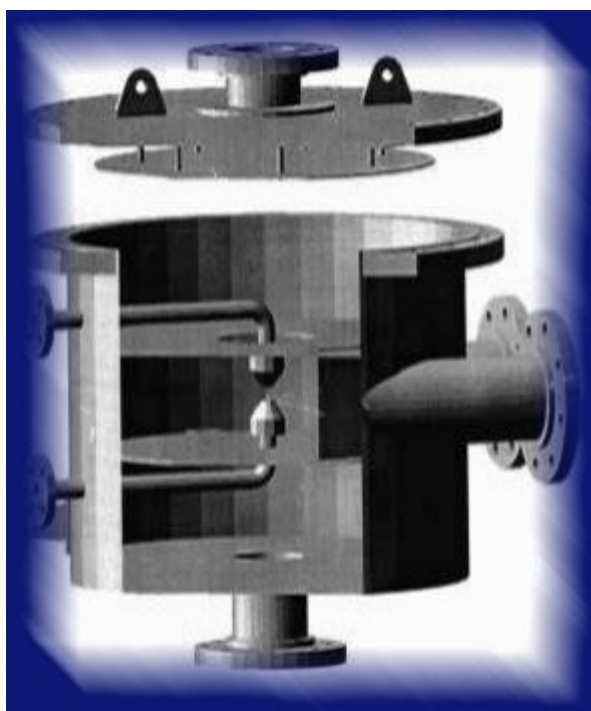
Druhým typem nestot v pyrolyzním procesu jsou kapaln uhlovodíky velmi podobn dehtu nazvan pyrolyzní olej. Obvykle se vyskytují pri procesech pomal pyrolyzy. Tyto kapaln nestoty konkrtn z biomasy mají podobu tmav hnědých, kyselých produktů. Mnohdy vsak obsahují i různé typy nezdoucch látek a vodu. Voda pochází z chemických procesů během pyrolyzy (oxidace vodíku) a z paliva, ve kterm je obsažena. Aby bylo odstraněno takovýchto kapalných nestot a nezdoucch látek, k jejichitni cyklonový odlučovač neslouží, je nutn použit zařizení nazvan mokr vypírka,mz je zjednoduen pračka plynu. Pro odstranění dehtu v prace lze využit mimo kondenzaci a srzenstic dalsch fyzikálních jev jako je difuze, rozpustnost a absorpce. Vtšina praček vsak zachycuje kapaln uhlovodíky pstrednictvm srzek kapiček odluovan hmoty s prací kapalinou. V potaz by měl být brán i typ prací kapalin, kter je kitni použit, jelikož lze skrze její vlastnosti docílit vedle klasického sbrustic i pridavnistc efekt. Nevýhodou systémů s pračkou plynu je snizen celkovinnosti zařizení.

Zjednoduen lze říci, že můžeme nalézt 2 druhy vyprek na základě typu pracích kapalin. Jedním je vypírka na bázi organick kapalin, a druhm je vypírka na bázi vody. V pripad organick kapalin lze konstatovat, že bezesporu oplývá vysokou rozpustností sloučenin obsažených v dehtu. Tento typ odlučování dehtu pomocí vypírky organickou kapalinou bude tedy probíhat na bázi absorpce, a je vhodn provádět jej za vsch teplot, než je rosný bod vody obsaen v plynu. Celý proces má několik stupně. Prvním je chlazen plynu prmm kontaktem s kapalinou, poté absorpce dehtu a odlouen dehtov mlhy, a poslední tkví v ochlazen plynu a jeho dalprav, neboť z pračky vystupuje plyn s prli vysokou teplotou na to, aby mohl být zaveden primo do motoru. To je důvod, po musí být ochlazen, a jelikož není parami nasycen, lze jej ochladit bez nebezpečí vzniku kondenzátu, avsak jen na určitou teplotu. Plyn je možno také chladit na nízké teploty za pomocí organick kapalin, např. pracího oleje. Lze tak totiž dosáhnout mnohem nsch výstupních koncentrací dehtu.

V pripad vypírky na bázi vody hrozí nebezpečí v podobě nasyceného dehtu, kter začne vytvářet samostatnou kapalnou fázi (aerosol) v podobě dehtov mlhy. Proto je nutn separace této fáze. Odlučování v této vodn prace m také několik fází. První krok je stejn jako u organick kapalin, a sice se jedná o chlazen plynu prmm kontaktem s kapalinou. Následuje odlučování j zmnn dehtov mlhy, priem kapičky dehtu lze

separovat pomocí některých typů praček nebo jiných odlučovačů. Dalším je ohřev plynu. Vzhledem k tomu, že plyn vystupuje ze zařízení prakticky nasycen dehty, doporučuje se kvůli prevenci další kondenzace. Za každou pračku by měl být umístěn účinný separátor kapek, aby nebyl výsledný efekt zmařen strháváním kapek prací kapaliny a aerosolu.

Pračka, která bude použita pro účely mé bakalářské práce, je mokrá pračka spalin V-tex na bázi vody. Funguje na principu dvou protilehlých trysek umístěných uvnitř válcové nádoby, a to ve středu její stěny. Do této nádoby je přiveden ze spodní části plyn, který se pohybuje rotačním pohybem směrem vzhůru a opisuje přitom tvar válce. Lze říci, že vytváří vír mířící k výstupu umístěném ve svrchní části nádoby. Současně proudí z trysek dva proudy skrápěcí kapaliny za vysoké rychlosti a tlaku. Proudí rychle tekoucí proti sobě způsobí rozstřík kapaliny na malé kapky na stěny komory. V tomto případě je rozstřík kapaliny způsoben kinetickou energií. Průměr trysek dosahuje (ve skutečnosti) i více než 1 cm šířky, což si lze vyložit jako důkaz, že nehrozí nebezpečí ucpání trysek, ani pokud by se jednalo o silně znečištěný plyn, např. tuhými částicemi. Čištění za použití této pračky lze považovat za inovativní, protože nejen že nebylo dosud použito, ale vysoká rychlost mezi plynem a kapalinou zároveň představuje ideální podmínky pro přestup hmoty a energie. Výhodou je i obojakost ve výběru pracích kapalin. Za tu je možno vzít v potaz jak vodu (dokonce i ledovou vodu), tak jiné kapaliny v závislosti na potřebě odloučení konkrétní nečistoty z plynu.



**Obrázek 2 - Mokrý pračka spalin V-tex**

## **Zdroj: [14]**

Tuto metodu čištění lze pojmenovat mokrým čištěním, a není zdaleka jedinou možností, jak vyrobený pyrolýzní plyn zbavit kapalných nečistot i tuhých znečišťujících látek. Dalšími způsoby jsou termický nebo katalytický rozklad či sorpční metody jako je absorpce a adsorpce. Mokrý vypírky jsou však dosud hojně využívány a osvědčily se jako nejlepší způsob, jak dosáhnout čistého plynu spolehlivé kvality.

### **7.1.3 Filtr**

Filtry se v případě pyrolytického procesu používají k odstranění částic a kondenzujících organických sloučenin z vyrobeného plynu anebo i k odprašování spalin. Filtrů je také nepřeberné množství od pískových, přes tkaninové, keramické až po elektrostatické odlučovače pracující na principu náboje částic prachu a kapiček kapalin.

Ve svém dalším schématu čištění pyrolýzního plynu však použijte tkaninový filtr, který je považován za osvědčenou techniku. Tento typ filtru se obecně používá k odprašování spalin různých spalovacích procesů. Prach se z povrchu filtru odstraňuje profouknutím pružné tkaniny filtru za pomoci určitého množství stlačeného plynu. Tento systém je systém regenerace čili jde o čištění textilií probíhající při plném zatížení filtru. Jako médium pro zpětný profuk je možné použít nějaký inertní plyn, nejčastěji pak dusík a oxid uhličitý. V jistých případech se může jednat i o již vyčištěný stlačený plyn. Nezbytností je ale v tomto případě připustit možnost případné vysoké investice v podobě kompresoru v nevybušném provedení.

Nevýhodou těchto filtrů je, že jsou určeny spíše k čištění plynu s relativně nízkou teplotou (kolem 200 °C). Materiál, který se dnes pro výrobu tkaninových filtrů upřednostňuje, je založen na PTFE (teflonu), jenž může být průběžně používán při teplotách do 235 °C. Jiné tkaninové filtry jsou vyráběny ze sklolaminátových vláken a mohou se použít až do teploty 600 °C.



**Obrázek 3 – Tkaninový filtr**

**Zdroj:** <http://www2.donaldson.com/toritdce/cs-cz/replacement-parts-services/pages/filters-donaldson-units/bag-filters.aspx>

## **7.2 Návrh metody čištění plynu**

Stejně jako existují různé druhy nečistot znehodnocující plyn, tak můžeme nalézt mnoho druhů metod, jak tento plyn od vzniklých znečišťujících látek vyčistit. Technologie pyrolýzy se rovněž skládá z více zařízení (cyklony, odlučovače, vypírky apod.), které každé slouží k odstranění jiného typu nežádoucích látek. Obsah těchto látek lze snížit vhodným typem reaktoru či optimalizací podmínek, což může mít vliv na kvalitu plynu. Proto jsem se rozhodla zaměřit se pouze na výběr konkrétních zařízení určených k vyčistění plynu. Porovnám vlastnosti vyrobeného plynu, jeho kvalitu či obsah znečišťujících látek, případně pak provozní, potažmo investiční náklady.

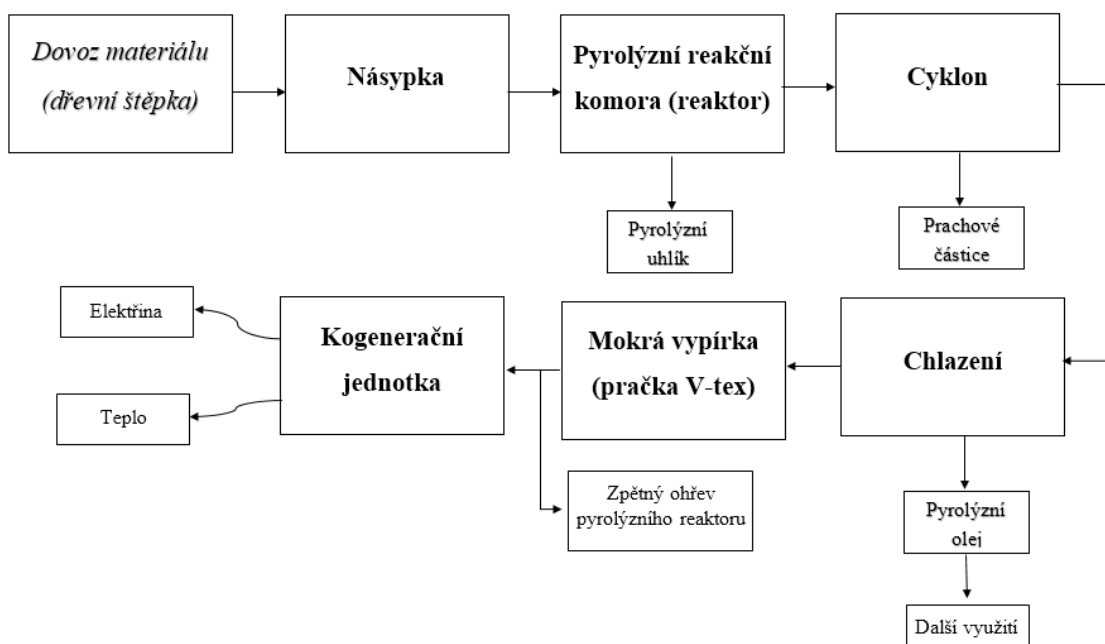
### **7.2.1 Návrh metody čištění č.1**

První čistící metoda pyrolýzního procesu, kterou sama navrhuji je s využitím mokré vypírky, a konkrétně se jedná o pračku spalin V-tex. Schéma je poskládáno z násypky, z níž je přivezený materiál dopravován šnekovým dopravníkem do pyrolýzního reaktoru. Použitým vstupním materiálem je zde biomasa v podobě dřevní štěpky. Kvalita tohoto materiálu značně ovlivňuje kvalitu vyrobeného plynu. Schéma dále tvoří pyrolýzní reaktor, ve kterém vzniká složitým chemickým procesem pyrolýzní plyn, a to za účinků vysoké teploty. Nepřímé ohřívání reaktoru pomocí hořáků je prováděno zemním plynem.

Vzniklý pevný pyrolýzní produkt (pyrolýzní koks neboli uhlík) je poté odveden pomocí systému šnekových dopravníků přes otočný turniket do boxu na pevný pyrolýzní zbytek.

Takto vyprodukovaný pyrolýzní plyn putuje do cyklonu, což můžeme nazvat první fází čistícího procesu. V cyklonu dochází k odloučení prachových částic, které negativně ovlivňují jak vlastnosti plynu, tak omezují možnosti, jak tento plyn dále energeticky využít. Po odchodu plynu z cyklonu a před vstupem do další čistící fáze je nezbytné medium ochladit. Při chlazení dochází ke kondenzaci uhlovodíků, což má za následek vznik pyrolýzní kapaliny, jenž připomíná směs dehtu a oleje. Tato je následně zachytávána do přilehlé nádoby, aby mohla být následně dále energeticky využita.

Toto čištění je následně zakončeno mokrou vypírkou. V tomto případě ji představuje pračka spalin typu V-tex, která dočistí finální vyrobený plyn od zbylých nečistot. Eliminace vzniklých nečistot v podobě prachu či pozůstalého pyrolýzního oleje je maximální. Zavedením výše popsaného zařízení by mělo být (teoreticky) docíleno co nejlepšího možného vyčištění, tedy i plynu o velmi vysoké kvalitě a výhřevnosti. Jak bude s vyrobeným plynem naloženo, už zaleží na každém provozovateli pyrolýzní jednotky. Pro účely studie se zamýšlí zavedení kogenerační jednotky pro následnou výrobu elektrické energie, a také energie tepelné. Další možností je rovněž použít pyrolýzní plyn (nebo jeho část) ke zpětnému ohřevu pyrolýzního reaktoru.



## **Obrázek 4 – Blokové schéma pyrolýzní jednotky č.1**

**zdroj: Silvie Janáková**

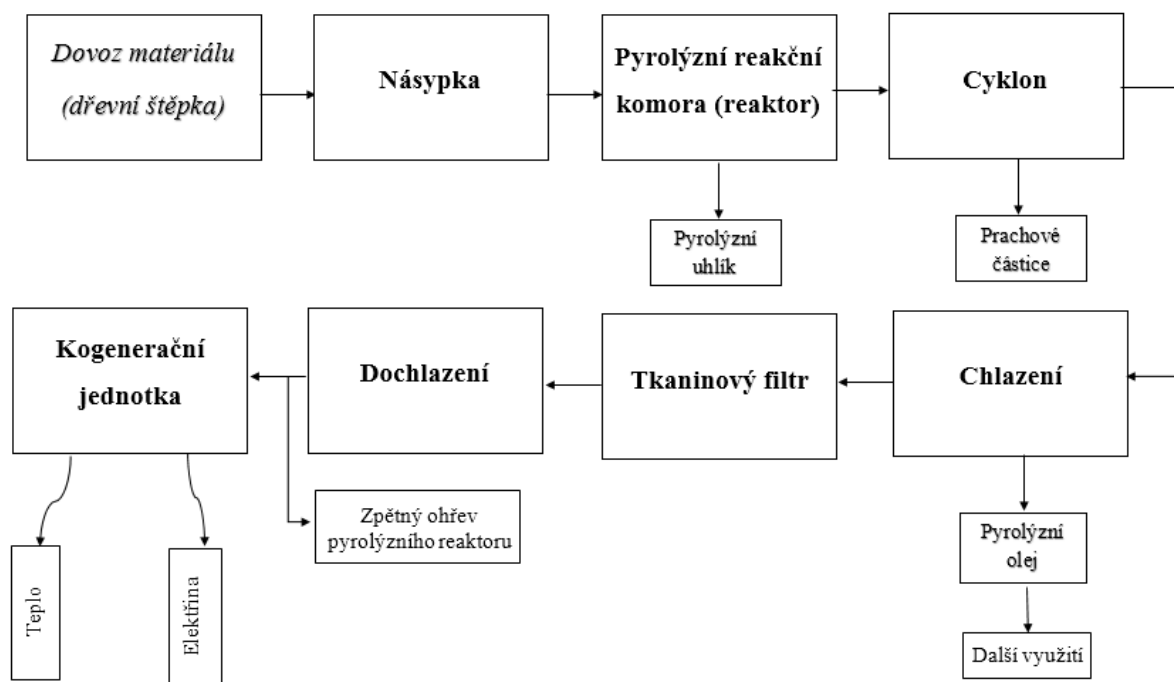
### **7.2.2 Návrh metody čištění č.2**

Druhý návrh čištění je velice podobný tomu předchozímu. Rozdíl je ve vstupním materiálu, kterým je komunální (směsný) odpad, jenž je definován legislativou jako veškerý dopad vznikající při činnosti fyzických osob na území obce. Jedná se tedy o odpad z domácností, tuhý komunální odpad, objemný odpad apod., který není separován nebo ho již dále separovat nelze. Ohřev je rovněž zajištěn zemním plynem. Proces je stejný od vstupu materiálu do násypky, přes pyrolýzní reaktor, až po čištění v cyklonu a následné ochlazení. Změna nastává v případě mokré pračky, která je zde nahrazena tkaninovým filtrem. Toto zařízení funguje tak, že proudící plyn prochází skrze tkaninu filtru, na které jsou zachytávány prachové částice spolu se zbytky pyrolýzního oleje. Ty po delší době vytvoří tzv. filtrační koláč, který umožní ještě větší separaci částic, protože dochází k oddělování stále menších a menších nečistot, až nakonec neprojde ani plyn. V takovém případě je nutné provést regeneraci, jenž spočívá ve zpětném profouknutí pružné tkaniny filtru pomocí daného množství stlačeného inertního plynu, což způsobí, že přilepené nečistoty z tkaniny odpadnou. Důležitým faktorem je i právě správný výběr filtrační tkaniny. Filtrační tkanina se totiž vybírá pro dané pracovní podmínky, a ty je nutné při provozu dodržet. Může se jednat například o nepřekračování dohodnutých teplotních limitů, neboť u tkaninových filtrů je jedním z nejdůležitějších parametrů maximální teplota media, procházejícího přes filtr, která nesmí být překročena.

Rovněž volba správného materiálu filtrační tkaniny, a i správného provedení filtračního zařízení (materiál výztužné klece, způsob šití filtrační hadice apod.) je důležité nepodcenit. Tkanin použitelných pro výrobu filtračních hadic je totiž v současné době na světovém trhu značné množství. V případě výběru vhodného filtračního materiálu je poté vhodné obracet se přímo na renomované firmy, které mají s praktickým používáním těchto materiálů dlouhodobé zkušenosti. Každý typ filtračního materiálu má také stanoveny podmínky, při jejichž dodržování dosahuje optimální účinnosti i životnosti.



Nevýhody jsou pak v možnosti zalepení samotného filtračního zařízení v důsledku zbytků oleje a nekondenzující vlhkosti, čemuž bylo v předchozí metodě zamezeno díky pračce V-tex.



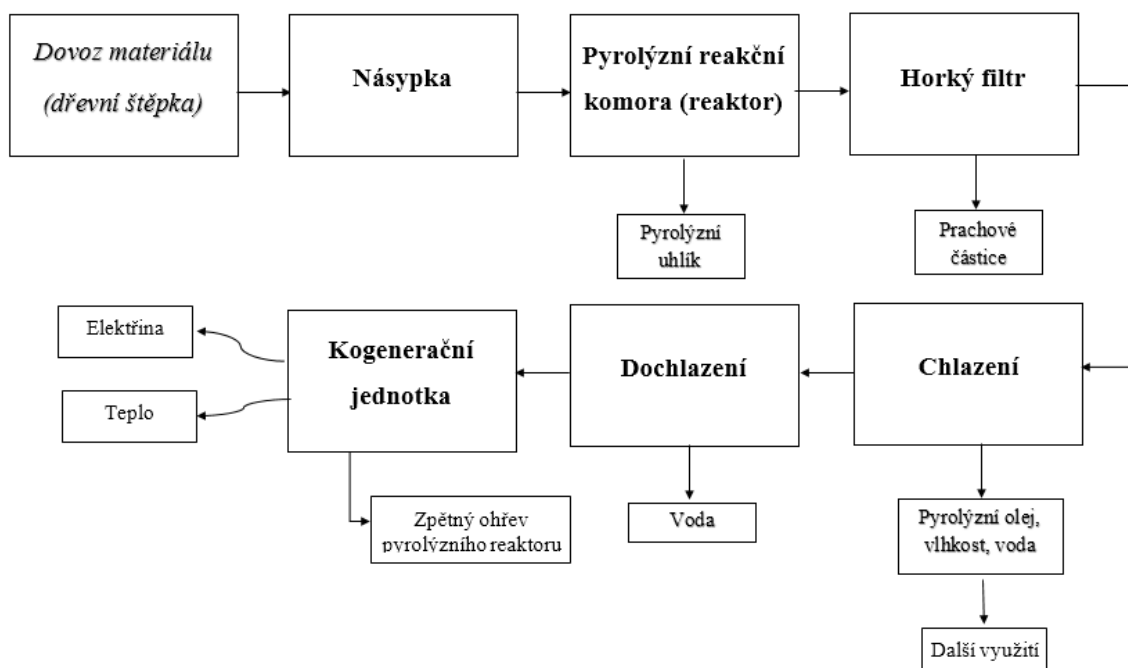
**Obrázek 5 - Blokové schéma pyrolýzní jednotky č.2**

**Zdroj: Silvie Janáková**

### 7.2.3 Návrh metody čištění č.3

Poslední návrh typu čištění je za použití horkého filtru. Schéma vypadá následovně: nejprve je dovezen materiál, kterým jsou v tomto případě použité (nepotřebné) pneumatiky, které musí být nadrceny. Tento druh odpadního materiálu je následně násypkou dopraven do reakční komory, odkud putuje do horkého filtru. Ohřev je stejně jako u předchozích dvou návrhů prováděn pomocí zemního plynu. Horký filtr funguje na bázi keramických vysokoteplotních vláken, která dovolují pracovat při teplotách 400 °C až 600 °C, ve výjimečných případech krátkodobě až 800 °C. Jeho funkcí je opět zachycení prachových částic, čímž můžeme zjednodušeně říct, že dochází k odprašování plynu. Vyrobený plyn putuje po tomto čištění dále do chladiče, kde je snížena jeho teplota na požadovanou teplotu.

Výhodou tohoto způsobu čištění je naopak vysoká pórovitost a propustnost plynu, lehká váha zařízení či stabilita při teplotách. U horkého filtru byla dokonce zjištěna nízká hodnota emisí, a vlákna, z nichž je filtr vyroben, jsou klasifikována jako neškodný odpad. Filtr je také nehořlavý a odolný vůči jiskrám. Kladem je možnost zlikvidovat jej jako domácí odpad.



**Obrázek 6 – Blokové schéma pyrolýzní jednotky č.3**

**Zdroj: Silvie Janáková**

**Tabulka 1 – Celkové vyhodnocení**

**Zdroj: Silvie Janáková**

<b>Návrh metody čištění</b>	<b>Čistící zařízení</b>	<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
<b>Metoda č.1</b>	Mokrý vypírka (pračka V-tex)	Důkladné dočištění plynu	Vysoké provozní náklady, není plně komerční
<b>Metoda č.2</b>	Tkaninový filtr	Nízká pořizovací cena filtru	Zalepení až ucpání filtru
<b>Metoda č.3</b>	Horký filtr	Teplotní stabilita, životnost	Vysoká pořizovací cena

## 8. Závěr

V závěru své práce jsem vypracovala tři bloková schémata znázorňující pyrolýzní jednotku. Jednotlivé technologie se liší zejména v metodách čištění, na jejichž možnosti jsem se zaměřovala. První schéma představuje možnost, jak kvalitně a s co nejmenšími nevýhodami vyčistit plyn, a získat tak kvalitní medium, které je vhodné k dalšímu energetickému využití. Značnou výhodou je rovněž aplikace mokrého čištění, což zde představuje pračka spalin typu V-tex, jejímž úkolem je plyn dočistit od zbylých nečistot. Druhé schéma je pozměněno, a místo mokré vypírky je využito tkaninového filtru. Ačkoliv má tato technologie své výhody například v nízké pořizovací ceně či jednoduché konstrukci, má i nevýhody jako je zalepení filtru nečistotami, což může vést až ke zneprůchodnění zařízení, a ukončit tak jeho životnost.

V posledním procesu je naopak využito horkého filtru, který nahradil jak mokré čištění, tak odlučovač v podobě cyklonu. I když má tato metoda nespornou výhodu v podobě keramických vláken oproti jiným možnostem čištění, v případě ucpání či zanesení filtru je plyn značně znehodnocen, a rovněž není dočištěn od zbytků pyrolýzní kapaliny a vzniklé vlhkosti. Tyto tři metody porovnáváme pouze z hlediska teoretických postupů, jak lze vyčistit plyn, jsou-li podmínkami pouze čistota a kvalita pyrolýzního plynu pro použití v kogeneračním motoru.

## 9. Použité zdroje a literatura

### Zdroje

- [1] Pyrolýza – princip, historie a současnost. *OENERGETICE.CZ* [online]. Česká Republika: Tomáš Molek, 2015 [cit. 2016-11-02]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/pyrolyza-princip-historie-a-soucasnost/>
- [2] Biom.cz. *Biom.cz: biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování a jejich využití* [online]. Praha 1: CZ Biom, 2009 [cit. 2016-11-02]. Dostupné z: <http://biom.cz/>
- [3] BTG Biomass Technology Group BV. *Btgworld.com* [online]. The Netherlands: BTG Biomass Technology Group & BlueBear, 2016 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: <http://www.btgworld.com/en>
- [4] Popis unikátní technologie. *Pyrolun.cz* [online]. Česká Republika: Pyrolun, 2016 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: <http://www.pyrolun.cz/popis-unikatni-technologie/>
- [5] OKK Koksovny, a.s.: Evropská špička ve výrobě kvalitního koksu. *Koksovny.cz* [online]. Ostrava: Společnost OKK Koksovny, 2015 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: <http://www.koksovny.cz/cz/historie-koksarenstvi-ve-svete>
- [6] Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy-hlavní body studie. *Biomasa-info.cz* [online]. Česká Republika: biomasa-info.cz, 2015 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/techpyr.htm>
- [7] Spalování. *Vitejtenazemi.cz* [online]. Česká Republika: vitejtenazemi.cz, 2013 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=spalovani&site=odpady>
- [8] Zplyňování–principy a reaktory. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. Česká Republika, 2006 [cit. 2016-11-05]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/13729-zplynovani-principy-a-reaktory>
- [9] Zplyňování: Zplyňování uhlí. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-11-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zply%C5%88ov%C3%A1n%C3%AD>
- [10] Pyrolýza odpadů-moderní způsob jejich zneškodnění. *EnviWeb.cz* [online]. ČR: EnviWeb, 2012 [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/odpady/94618/pyrolyza-odpadu-moderni-zpusob-jejich-zneskodneni>
- [11] Cyklon: Nové řešení konstrukce vírových odlučovačů materiálu. *Zdenek*

*Briza-Lisnice.com* [online]. Líšnice: Zdeněk Bříza, 2017 [cit. 2017-05-07].

Dostupné z: <http://www.lisnice.com/basic1.php?a=3>

[12] Obecný popis tkaninového filtru. *SLAVEX Industrial Filters s. r. o.* [online].

Praha: Slavex Filters, 2008 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z:

[http://www.slavex.cz/oblasti\\_tkaninovy-filtr.html](http://www.slavex.cz/oblasti_tkaninovy-filtr.html)

## Literatura

[13] SASSMANOVÁ, Ing. Veronika. *Možnosti využití pyrolýzního*

*procesu v oblasti zpracování vybraných druhů materiálů na jednotce Pyromatic.*

Ostrava, 2014. Disertační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava,

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství. Vedoucí práce Prof.Ing. Jiří BILÍK,

CSc.

[14] JÍLKOVÁ, Lenka, Karel CIAHOTNÝ a Radek ČERNÝ. *Technologie pro*

*pyrolýzu paliv a odpadů.* Praha: VŠCHT Praha, FTOP, Ústav plynárenství,

koksochemie a ochrany ovzduší, 2012, s. 74-80.

[15] PAVLÍK, Petr. *Pyrolýzní technologie pro možnosti energetického a materiálového*

*využití odpadů.* Ostrava, 2015. Prezentace v power point. Technická Univerzita

Ostrava, Centrum ENET – Energetické jednotky pro využití netradičních zdrojů

energie.

[16] NAJSER, Jan. *Zplyňování dřeva pro kogeneraci.* Ostrava, 2008. Disertační práce.

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

[17] BALÁŠ, Marek, Martin LISÝ a Jiří KUBÍČEK. *Mokrý vypírka pro čištění*

*energoplynu.* Lednice, 2014. Odborný článek. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta

strojního inženýrství, Odbor energetického inženýrství.

[18] BWF Tec GmbH & Co. KG, ENVIROTEC. *Pyrotex KE85, The filter programme*

*for hot gas dedusting applications.* Germany, 2012. Prezentace v power point.