

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav aplikované a krajinné ekologie



Pyrolýzní zpracování odpadů
Bakalářská práce

Vedoucí práce:
Ing. Bohdan Stejskal, Ph.D.

Vypracovala:
Kateřina Heralová

Brno 2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Kateřina Heralová**
Studijní program: Zemědělská specializace
Obor: Agroekologie
Konzultant: energetické využití
Název tématu: **Pyrolýzní zpracování odpadů**
Rozsah práce: cca 35 stran + přílohy

Zásady pro vypracování:

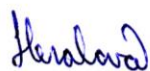
1. Obecně popište problematiku termického zpracování odpadů.
2. Podrobně popište problematiku pyrolýzního zpracování odpadů, včetně nejmodernějších a vyvíjených technologií.
3. Zhodnoťte pyrolýzní a vyvíjené technologie a určete limity jejich praktického použití.

Seznam odborné literatury:

1. CIPRYS, V. – SUK, M. – ĎURICA, D. *Energetické zdroje včera, dnes a zítra*. Brno: Moravské zemské muzeum, 2010. 165 s. ISBN 978-80-7028-374-5.
2. DENISON, R A / . *Recycling and Incineration : Evaluating the Choices*. Washington: Island Press, 1990. 21 s. ISBN 1-55963-054-X.
3. HAVLÍČEK, M. Využitelnost biomasy pro proces zplyňování. In *Acta Universitatis agric. et silvic. Mendel. Brun. Brno, 2000, XLVIII, 4*. 1. vyd. Brno: Pedagogické a vědecké oddělení rektorátu MZLU v Brně, 2000, ISSN 1211-8516.
4. JUCHELKOVÁ, D. *Likvidace a využití odpadů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2000. 73 s. ISBN 80-7078-747-3.
5. KOLOMAZNIKOVÁ, H. *Energetické využití biomasy*. Disertační práce. Brno: MZLU v Brně, 1997. 133 s.
6. KOTOVICOVÁ, J. a kol. *Odpady biodegradabilní – energetické a materiálové využití – III. ročník konference*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. 109 s. ISBN 978-80-7375-229-3.
7. KOTOVICOVÁ, J. *Odpady biodegradabilní : energetické a materiálové využití : III. ročník mezinárodní konference, 6.11.2008*. Brno. 2008. ISBN 978-80-7375-229-3.
8. KOTOVICOVÁ, J. *Odpady biodegradabilní : energetické a materiálové využití : sborník z II. ročníku mezinárodní konference, 7. listopad 2006 Brno*. V Brně: Mendelova lesnická a zemědělská univerzita, Agronomická fakulta, Ústav aplikované a krajinné ekologie, 2006. 156 s. ISBN 80-7157-994-722006.
9. KOTOVICOVÁ, J. *Odpady biodegradabilní : energetické a materiálové využití : sborník z II. ročníku mezinárodní konference, 7. listopad 2006 Brno*. V Brně: Mendelova lesnická a zemědělská univerzita, Agronomická fakulta, Ústav aplikované a krajinné ekologie, 2006. 156 s. ISBN 80-7157-790-112004.
10. SKÁLA, Z. – LISÝ, M. – FAJMAN, M. Fluidní zplyňování biomasy. *Agro magazín*. 2006. sv. 7, č. 11, s. 74–77. ISSN 1214-0643.
11. VYKOUŘILOVÁ, A. *Současné trendy v oblasti termického zneškodňování odpadů*. Bakalářská práce. Brno: MZLU v Brně, 2006.
12. VYKOUŘILOVÁ, A. *Spalovny a multifunkční zařízení pro nakládání s KO*. Diplomová práce. Brno: MZLU v Brně, 2008. 64 s.

Datum zadání bakalářské práce: říjen 2013

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2015



Kateřina Heraldová

Autorka práce



Ing. Bohdan Stejskal, Ph.D.

Vedoucí práce



prof. Ing. František Toman, CSc.

Vedoucí ústavu



prof. Ing. Ladislav Zeman, CSc.
Děkan AF MENDELU

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Pyrolýzní zpracování odpadů vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

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

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

V Brně dne:.....

.....
podpis

Poděkování

Ráda bych zde poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Bohdanu Stejskalovy, PhD., za jeho cenné připomínky, odborné rady a vstřícný přístup. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za trpělivost, podporu a pomoc při psaní této bakalářské práce.

ABSTRAKT

Bakalářská práce na téma Pyrolýzní zpracování odpadů je zaměřena na termické zpracování odpadů pyrolýzními metodami. V první části práce jsou obecně popsány metody termického zpracování odpadů; jak oxidační, tak redukční.

Další částí práce je uveden podrobný popis pyrolýzních technologií různých zahraničních firem se zaměřením na různé vstupní materiály, jako jsou biomasa, pneumatiky či komunální odpad.

Následující část práce je zaměřena na pyrolýzní technologie provozované v České republice, jakou jsou pyrolýzní kontejnerová linka vyvinutá v Poděbradech, vakuová pyrolýza, mnohokonturová cirkulační pyrolýza a pyrolýzní jednotka Pyromatic vyvinutá v Ostravě.

Určitá pozornost je věnována využití pevného zbytku po pyrolýze a také možnostem a limitům využití pyrolytických jednotek v praxi.

KLÍČOVÁ SLOVA

pyrolýza, zpracování odpadů, oxidační, redukční, vstupní materiály

ABSTRACT

Bachelor's thesis on the topic of pyrolysis processing of waste is focused on thermal processing of waste by pyrolysis methods. The first part describes methods of thermal processing of waste in general, both oxidative and reductive.

In the next section there is a detailed description of pyrolysis technologies of various foreign companies focusing on various input materials such as biomass, tires or municipal waste.

The next part of thesis is focused on pyrolysis technology operating in the Czech Republic, such as pyrolysis container line developed in Pödebrady, vacuum pyrolysis, pyrolysis muchcontour circulation and pyrolysis unit Pyromatic developed in Ostrava.

Certain attention is paid to the use of solid residue after pyrolysis, and also possibilities and limits of using pyrolytic units in practice.

KEY WORDS

pyrolysis, processing of waste, oxidative, reductive, input materials

Obsah

1	ÚVOD	8
2	CÍL PRÁCE	9
3	LITERÁLNÍ PŘEHLED	10
3.1	OBECNÁ PROBLEMATIKA TERMICKÉHO ZPRACOVÁNÍ ODPADŮ	10
3.1.1	<i>Spalování odpadů</i>	10
3.1.2	<i>Spoluspalování odpadů</i>	13
3.1.3	<i>Termické zpracování odpadů s omezeným přístupem vzduchu</i>	13
3.1.3.1	Pyrolýza	14
3.1.3.2	Zplyňování	15
3.1.4	<i>Plazmová technologie</i>	15
3.1.5	<i>Plazmová pyrolýza</i>	16
3.1.6	<i>Plazmová vitrifikace</i>	16
3.1.7	<i>Mokrý oxidace</i>	16
3.1.8	<i>Hydrolyza</i>	17
3.2	PODROBNÝ POPIS PYROLÝZNÍHO ZPRACOVÁNÍ ODPADŮ.....	17
3.3	PYROLÝZNÍ ZPRACOVÁNÍ ODPADŮ, VČETNĚ NEJMODERNĚJŠÍCH A VYVÍJENÝCH TECHNOLOGIÍ	19
3.3.1	<i>Pyrolýza v legislativě</i>	19
3.3.2	<i>Pyrolýzní zpracování dle různých druhů odpadů</i>	19
3.3.2.1	Pyrolýza odpadních pneumatik.....	19
3.3.2.2	Rychlá pyrolýza biomasy.....	20
3.3.2.3	Zpracování tuhého komunálního odpadu pomocí pyrolýzy	20
3.3.2.4	Pyrolýza využitá v kovoprůmyslu	21
3.3.2.5	Pyrolýza předsušeného čistírenského kalu	21
3.3.2.6	Pyrolýza odpadů z papírenského průmyslu	23
3.3.3	<i>Zahraníční firmy a jejich technologie rychlé pyrolýzy</i>	24
3.3.3.1	Dynamotive Energy Systems:.....	24
3.3.3.2	Ensyn Corporation	24
3.3.3.3	BTG Genting Group	24
3.3.3.4	LUGRI/FZK.....	25
3.3.4	<i>Zahraníční firmy a jejich technologie pyrolýzy pneumatik a plastů</i>	25
3.3.4.1	Kobe Steel.....	25
3.3.4.2	Mitsui Petrochemical Industries	25
3.3.4.3	MVU	26
3.3.4.4	DRP – Deutsche Reifen Pyrolyse	26
3.3.5	<i>Zahraníční firmy a jejich technologie pyrolýzy komunálních odpadů</i>	27
3.3.5.1	Pilotní pyrolýzní zařízení vyvinuté v Tianjin v Číně.....	27
3.3.5.2	Honghoo technologie	27
3.3.5.3	Nexus	28
3.3.5.4	Thide Environnement	28
3.3.5.5	KWU – Siemens SBV.....	28
3.3.5.6	Destrugas-Postup von Kroyer.....	29
3.3.5.7	BKMI - Anlage Burgau	29
3.3.5.8	Proces Ebara	29
3.3.6	<i>Zahraníční firmy a jejich technologie pyrolýzy TAP</i>	30
3.3.6.1	Bergau	30

3.3.6.2	Termoselect.....	30
3.3.6.3	Rowitec	30
3.3.6.4	Compact Power.....	30
3.3.6.5	SWERF	31
3.3.6.6	Waste Gen.....	31
3.3.6.7	Energos	31
4	MATERIÁL A METODIKA.....	32
4.1	ČESKÉ PYROLÝZNÍ TECHNOLOGIE	32
4.1.1	<i>Kontejnerové linky pyrolýzy vyvinuté PolyComp, a.s. Poděbrady spolu s VÚZT v.v.i. Praha</i>	32
4.1.2	<i>Pyromatic.....</i>	32
4.1.3	<i>Vakuová pyrolýza.....</i>	35
4.1.4	<i>Technologie mnohokonturové cirkulační pyrolýzy (MCP) – Pyrolun</i>	35
4.2	PYROLÝZA JAKO NÁSTROJ PRO VÝROBU PRODUKTŮ	38
4.2.1	<i>Výroba uhlikatého materiálu dle užitého vzoru.....</i>	38
5	VÝSLEDKY A DISKUZE	40
5.1	LIMITY PRAKTICKÉHO VYUŽITÍ PYROLÝZNÍCH JEDNOTEK	40
5.2	PŘÍKLAD VYUŽITÍ PYROLÝZY V PRAXI.....	40
6	ZÁVĚR	42
7	POUŽITÁ LITERATURA.....	43
8	SEZNAM PŘÍLOH.....	46
9	PŘÍLOHY:	47

1 ÚVOD

Odpad je starý jako lidstvo samo, většina odpadu však dříve byla přírodního původu, odpad se rychle rozložil a vrátil do koloběhu látek. Odpady se začaly hromadit během neolitická revoluce, kdy se lidé vzdali kočovného způsobu života a začali se shromažďovat na jednom místě. První důmyslné nakládání s odpady bylo ve starověkém Řecku a Římě, kdy byl odpad shromažďovaný v systému kanalizací. Zánik těchto civilizací znamenal zánik tohoto způsobu nakládání s odpady. V Evropě se zlom nakládání s odpady stal v 19. století v Anglii, kdy vznikly první skládky na tuhý odpad. V 70. letech 19. století vznikly první spalovny odpadů.

Se stále zvyšujícím se zalidněním roste i množství vyprodukovaných odpadů. Existuje sice snaha o prevenci a omezení vznikajícího množství odpadů, ale není příliš úspěšná. Roku 1980 v 25 zemích budoucí EU bylo vyprodukováno 150 mil./Mg/rok odpadu, v roce 2005 se produkce zvýšila na 250 mil./Mg/rok. V letošním roce se předpokládá nárůst na 300 mil./Mg/rok. V ČR se směsný komunální odpad zneškodňuje hlavně skládkováním. Evropská unie žádá o uzavření skládek pro směsný komunální odpad v roce 2024, ČR vydala plán odpadového hospodářství pro období 2015 – 2024, kde očekává splnění tohoto nároku.

Nejen v Evropě, ale i ve světě je vidět velký nárůst zařízení pro spalování či energetické využití odpadů. Ve srovnání se skládkováním je spalování či energetické využívání odpadů šetrnější k životnímu prostředí.

Evropa je největší světovou velmocí pro technologie energetického využívání odpadů. V současnosti se v Evropě energeticky zpracovává 91 mil./Mg/rok komunálního odpadu, tento odpad je zpracováván v 520 zařízeních. Díky energetickému využívání odpadů a recyklaci se podle Evropské energetické agentury snížily emise skleníkových plynů o 34% v letech 1990–2006.

2 CÍL PRÁCE

Cílem mé bakalářské práce je popis metod a technologií energetického využití odpadů. Nejvíce se věnuji technologii probíhající bez přístupu oxidačních medií, pyrolýze. Popisuji principy pyrolýzy v České republice i v zahraničí. Zahrnuty jsou vyvinuté i vyvíjené pyrolýzní technologie včetně těch, které z různých důvodů nefungují. Dále také popisuji technologie pyrolýzy v závislosti na vstupujícím druhu odpadu. Práci ukončuji popisem pyrolýzních jednotek na území České republiky, které prozatím nefungují komerčně.

3 LITERÁLNÍ PŘEHLED

3.1 Obecná problematika termického zpracování odpadů

Česká republika považuje za energetické využívání odpadů hlavně přímé spalování odpadů. V zahraničí do tohoto pojmu zahrnují kromě přímého spalování i spoluspalovací zařízení, pyrolýzu, zplyňování, mokrou oxidaci, anaerobní digesci za účelem výroby bioplynu a využití skládkového plynu. Mimo spalování je tento výčet technologií považován za alternativní způsoby spalování. Od 70. let 20. století jsou vyvíjeny technologie využití plazmatu a termochemické postupy (pyrolýza, zplyňování). Výsledkem těchto postupů není jenom energie, ale i chemické produkty, které lze využít jako suroviny pro další proces či sekundární palivo. [1]

Termické zpracování odpadů lze rozdělit na procesy:

- 1) Oxidační, při této metodě je v reakčním prostoru vyrovnaný či vyšší (nad stechiometrický) obsah kyslíku, než je potřeba pro zpracování odpadu.
- 2) Redukční proces probíhá v prostředí, kde je nedostačující neboli pod stechiometrický či nulový obsah kyslíku. [3]

3.1.1 Spalování odpadů

Vysokoteplotní oxidace je způsob spalování odpadů, tento způsob snižuje organické kontaminanty, koncentruje těžké kovy v zachyceném popílku a celkově zmenšuje hmotnostní a objemové množství odpadů. Ke spalování odpadů by měl být použitý pouze odpad, který není druhotnou surovinou. Jako vedlejší produkt vzniká tepelná energie, která je sice příznivým jevem, ale například u nebezpečných odpadů není hlavním důvodem spalování.

Spalování odpadů má velká negativa, avšak v hustě obydlených oblastech, kde není půda pro skládkování, je to jeden z hlavních způsobů nakládání s odpady. Za negativa lze považovat vysoké investiční náklady, vysoké provozní náklady, drahé kontrolní a měřicí zařízení, obsluha musí mít vysokou kvalifikaci.

Spalovací proces probíhá v 6 fázích, které na sebe navazují:

- 1) První fází je předsoušení odpadu, které probíhá pomocí plamene a vzduchu, který má okolo 100 °C.

- 2) Druhá fáze odplynění, zde se odpad zahřeje na 200 – 600 °C, probíhají zde reakce mezi kyslíkem a uhlíkatými látkami, vznikají hořlavé plyny, odpady se oxidují a odplyňují.
- 3) Třetí fází je zapálení odpadů, tato fáze se překrývá s odplyněním odpadů, vznikají místní ložiska hoření.
- 4) Ve čtvrté fázi probíhá spalování plynů, teplota v lóži je 500 – 800 °C, vzduch je přiváděn v nadbytku 10 – 30 %, jsou zde nová ohniska hoření a vyvíjí se více plynu.
- 5) Pátou fází je hoření, teplota je 1 000 °C, přebytek vzduchu asi 40 %, hoří zde plyn a vzniklý polokoks. Vzniká škvára a popílek.
- 6) Poslední, šestou fází, je fáze vyhořívání a odvádění tepla. Teplota může vystoupat až na 1 200 °C, hlavním důvodem je přebytek tepla, který se musí odvádět, dohořívá zbytek odpadu.

Pokud je dostatečný přísun kyslíku a odpad má dobrou výhřevnost, dochází k termické řetězové reakci a s tím spojenému samovolnému hoření. Odpady, které mají malou výhřevnost spojenou s vysokým obsahem inertních materiálů, jsou spékavé či mají vysokou vlhkost, musí být podporovány při spalování přídavným palivem k lepšímu spálení.

Zůstatkem po spalování odpadů je popel, který je tvořený nespalitelnými anorganickými látkami. Při spalování odpadů je důležitý dostatečný přísun kyslíku, rychlost zahřátí, teplota hoření a doba expozice, aby se nebezpečné látky obsažené v odpadech nevypařily do ovzduší či nerozložily na nebezpečnější látky.

Technologie spalování se dle druhu odpadu provádí:

- 1) Na rošttech, ty se využívají hlavně na komunální odpady s energetickým využitím.
- 2) V rotačních pecích, kde se spalují kapalné, plastické i tuhé odpady.

Dle úpravy lze dělit spalování na:

- 1) Přímé spalování – snaha o co nejdokonalejší spálení všech spalitelných látek bez úpravy odpadu.
- 2) Spalování s předchozí úpravou odpadů – odpad je velmi heterogenní a je snaha o jeho větší stejnorodost tím, že se odeberou nehořlavé látky, což vede k vyšší výhřevnosti.

Existuje celá řada spalovacích pecí:

- 1) Roštové pece – jsou jednou z nejvíce využívaných technologií v Evropě. Rošty jsou pevné nebo pohyblivé a využívají se hlavně pro komunální odpady. Spalovací

teplotu mají okolo 800 – 900 °C. [1] Odpad se spaluje na roštících, vzniklými otvory je přiváděn vzduch. V ČR jsou hlavně konstrukce s válcovým roštem. [2]

- 2) Rotační pece – tyto pece mohou spalovat nebezpečné i ostatní odpady. Nejsou zde překážky konzistencí, spalují tuhé, polotuhé i kapalné odpady. Teplota spalování je až 1 500 °C. Výhody této pece spočívají především v tom, že je zde přimícháno dostatečné množství kyslíku. Nedochozí ke spékání, na úpravu před spalováním nejsou kladeny nároky, nezáleží ani na skupenství. Nevýhody této technologie spočívají hlavně v požadavku na přídavné palivo kvůli udržení vysoké teploty a existuje vysoká pravděpodobnost možnosti poškození vyzdívky při padání odpadů ze shora.
- 3) Fluidní pece – lože této pece mívají teplotu 650 – 1 200 °C v závislosti na druhu odpadu. Různorodé odpady musí být upraveny především velikostně drcením. Největší využití má při spalování průmyslových odpadů s vysokým obsahem síry, která se zachytává do mletého vápence. Velkou výhodou je relativně malé množství spalin, oxidů dusíku a CO. Nevýhodou při spalování látek s aglomerační schopností je riziko ucpání fluidního lože. Špatně se z lože odstraňují i lehké inertní zbytky.
- 4) Etážové pece – jsou složeny z více etáží, kterými odpad postupně prochází a spaluje se. Tento typ pece je vhodný především pro odpady, které nemají nebezpečné vlastnosti a mají malou vlhkost. Zásadní nevýhodou je vznik horkých a studených míst.
- 5) Muflové pece – použití těchto pecí se specifikuje hlavně na zdravotnický materiál, ropné kaly, zbytky barev či laků. Provoz v muflové peci je periodický, tudíž se odpad naváží do studené pece a ta se postupně zahřívá na 800 – 1 200 °C. [1]
- 6) Šachtové pece – dělí se na šikmou pec a kuplovnu. Do kuplovny je odpad dáván ze shora a vzduch je přisávaný ze spodu. Šikmá pec pracuje podobným způsobem.
- 7) Komorové pece – spalovací prostor má tvar komory, režim spalování je periodický. Využívá se nejčastěji na velký objemný tuhý odpad. Dosahují teplot 800 – 1 000 °C. Tyto pece se budují jako pomocné. Dodatečné spalování zplodin mají komorové pece společné s hlavní pecí.
- 8) Prostorové pece – především pro chemický průmysl na kapalný odpad. Pokud má odpad vysokou výhřevnost, hoří sám, pokud je výhřevnost nízká, dohřívá se. Teplota je 900 – 1 200 °C
- 9) Kremační pece – používají se na spalování mrtvých těl lidí, ostatků. Tvarově jsou to komorové pece, které fungují periodicky. [3]

3.1.2 Spoluspalování odpadů

Probíhá pomocí průmyslových zařízení, která prvotně nejsou určena ke zpracování či využití odpadů. Hlavním cílem je výroba tepelné a elektrické energie. Odpady při spoluspalovacích procesech nahrazují fosilní paliva v průmyslu, avšak využívají se k tomu pouze odpady, které jsou upraveny. Výrobní technologie, kde se uplatňuje spoluspalování, je například při výrobě oceli, cementu, vápna, papíru.

Podniky, které využívají spoluspalování, ušetří 10 – 20 % energie. Tato volba jim samozřejmě sníží náklady provozu podniku a závislost na fosilních palivech. Dalším důvodem využívání je přispění ke Kjótskému protokolu snížením skleníkových plynů (CO₂) z fosilních paliv. Avšak je zde problém s nedostatečným čištěním spalin a s tím spojené zvýšené emise.

Spoluspalování komunálního a průmyslového odpadu bez úpravy není možné v zařízeních určených na spalování uhlí. Využít se může tuhé alternativní palivo (TAP), které je vyrobeno z určitého druhu odpadu (papír s plastem mají výhřevnost srovnatelnou s černým uhlím). RDF, který vznikl pomocí mechanicko-biologické úpravy odpadů (MBÚ).

RDF se využívá hlavně v Německu, Rakousku, Itálii. Česká republika o zavedení (MBÚ) až na výjimky neuvažuje. U nás se spoluspalování odpadů využívá hlavně v cementárnách. V současné době se o paliva na bázi odpadů zajímá i ČEZ, který zkouší přidávat v elektrárnách TAP. Elektrárny s fluidními pecemi nepotřebují žádnou další úpravu. Spoluspalování odpadů v elektrárnách se dá považovat za podpůrné či přechodné nakládání s odpady do té doby než bude jinak vyřešen problém komunálních odpadů.

[1]

3.1.3 Termické zpracování odpadů s omezeným přístupem vzduchu

Mezi termické zpracování odpadů s omezeným přístupem vzduchu patří především zplyňování a pyrolýza. Z uhlíkatých přírodních i umělých materiálů pomocí tepla vzniká plyn, koks a dehet.

Výhody termického rozkladu s omezeným přístupem kyslíku oproti spalování, kde je přístup kyslíku nadměrný, je možnost využít i vzniklé chemické látky z odpadů k výrobě energie. Mají nižší korozní účinky, nevzniká tolik nebezpečných emisí, jako jsou furany a dioxiny. Zařízení lze využít i pro malé množství odpadů.

Nevýhodami jsou především malé zkušenosti s poměrně mladou technologií. Použití na heterogenní odpady, jakými jsou například komunální odpady, je složité a zatím nedostatečně prozkoumané. [1]

3.1.3.1 Pyrolýza

Tato technologie byla k výrobě oleje a parafinů využívána již v 19. století. Největší průmyslový rozvoj nastal ve 20. století v období druhé světové války. Německo využívalo pyrolýzní technologii pro výrobu pohonných hmot. Výroba pohonných hmot z hnědého uhlí odstoupila v 60. letech. Náhradou byla ropa. Během několika posledních let se rozvíjí nové technologie pyrolýzy, ve snaze využít alternativních zdrojů energie. [8]

Pyrolýza je termický rozklad, který se uskutečňuje bez přítomnosti oxidačních médií (O_2 , H_2O , CO_2). Probíhá endotermně, protože je zde potřebný přísun energie. Potřebná teplota je asi 300 – 800 °C. Pyrolýzu lze použít při odstraňování ostatních, ale i nebezpečných druhů odpadů. Probíhá ve dvou stupních. V prvním stupni se bez přístupu oxidačních médií zahřívá a uvolňuje se plyn. Ve druhém stupni jsou plyny vzniklé v prvním stupni spáleny, podobně jako u konvekčních zařízení.

Výstupními produkty při pyrolýze je pyrolýzní plyn, pyrolýzní olej a tuhý koks. Procentuální zastoupení jednotlivých složek závisí na vstupním odpadu. U všech tří frakcí se může pohybovat 20 – 50 %. Například z plastů či pryže je vyšší procento plynů a oleje.

Výhody pyrolýzního zpracování jsou v poměrně snadné obsluze, k přeměně na energii lze využít všechny výstupy, z tuhé frakce lze získat cenné látky jako je olovo, zinek. Životnost je díky nižším teplotám vyšší než u spalovny.

Nevýhodou je možnost vzniku karcinogenních látek při zpracování odpadů s vysokou toxicitou.

Pyrolýzní plyn je směsí vodíku, metanu, oxidů uhlíku a dalších těkavých látek, které jsou ovlivněny vstupní surovinou. Kapalina je složená z dehtu, oleje, vody, organické a uhlíkaté sloučeniny. Koksový materiál tvoří tuhou fázi, ve které je i malé zastoupení kovů, skla, apod. [1]

3.1.3.2 Zplyňování

Proces, při kterém vzniká plynné palivo termochemickou přeměnou organických látek. Pokud zplyňování následuje po pyrolýzním zpracování, jako vstupní látky jsou použity dehet a koks, který se pomocí parciální oxidace přemění na plyn.

Proces zplyňování je převážně exotermní, ale může být i endotermní. Princip spočívá v reakci uhlíkatých materiálů se vzduchem při teplotě 500 – 1 800 °C. Výhřevnost plynu závisí na vstupním médiu, při reakci se vzduchem, kyslíkem je plyn nízko výhřevný nebo středně výhřevný. Vzniklý plyn se využívá jako energetická surovina při výrobě tepla nebo elektrické energie.

Složení plynu je téměř totožné s pyrolýzním s výjimkou vyššího obsahu CO₂. Výťažnost se pohybuje kolem 30 – 60 % hm. Kapaliny vzniká pouze 10 – 20 % hm., obsahuje dehet a olej. Pevným výstupem je popel 30 – 50 % hm.

Metoda se využívá již od 19. století pro výrobu svítiplynu zplyňováním uhlí. Ač má proces zplyňování v praxi využití, přesto se v České republice v oblasti odpadového hospodářství nevyužívá podobně jako pyrolýza. V budoucnu by se to však mohlo změnit. Nevýhodou tohoto procesu je potřeba jemného vstupního materiálu. [1]

3.1.4 Plazmová technologie

Tato metoda zpracování odpadů se začíná rozvíjet během několika pár let. Hlavní složkou je plazma (elektrický ionizovaný plyn). Charakteristika plazmy je velmi rozdílná ve srovnání s plynem, kapalinou i tuhými látkami. Příčinou je obsah elektricky nabitých částic a s tím spojená vysoká reaktivnost. Plazmat bývá vyráběna z argonu, helia, vodní páry. Na odpady se z ekonomických důvodů používá vzduch.

Vznik plazmy je pomocí proudu elektronů, do kterého naráží vzduch, a díky tomu dochází k vysokým teplotám 5 000 – 10 000 °C. Při tomto procesu se odpad rozkládá na molekulové struktury, z nich vznikají jednoduché sloučeniny. Zdrojem energie bývá elektrický proud nebo elektromagnetické záření. Plazmová technologie je velmi flexibilní a regulovatelná metoda.

Rozdělení plazmatu dle způsobu vzniku:

- 1) Vysokoteplotní plazma – částice jsou v termodynamické rovnováze.
- 2) Nízkoteplotní plazma – může být tepelná plazma, zde dochází k rovnováze a studená plazma, která je v nerovnovážném stavu.

Mezi hlavní výhody se řadí vysoká energetická hustota a vysoká teplota, kterou lze využít pro rychlý ohřev, náběh reaktoru, atd. Elektřinu lze využít jako energetický zdroj a vznikají hodnotné vedlejší produkty. [1]

3.1.5 Plazmová pyrolýza

Metoda, která se používá na nebezpečné kapaliny a plyny (CFC, HFC, PCB). Technologie používá plazmový oblouk vyvolaný wolframovou katodou se stejnosměrným proudem a jako plyn je použitý argon. Ve světě funguje 10 závodů a to v Austrálii, USA, Japonsku, atd. Výhodou této metody je, že ji lze použít i na odpady, které mají nízkou výhřevnost bez použití přídavného paliva. Vzniká syntézní plyn a vitrifikovaná struska. [1]

3.1.6 Plazmová vitrifikace

Vysoké teploty vedou k rozkladu organických molekul, z čehož vzniká vysoce energetický syntézní plyn, který je z velké části tvořen H_2 a CO_2 . Plyn se používá pro výrobu elektrické energie, tepla a jako kapalné palivo. Anorganické zbytky se mění na nevyluhovatelou vitrifikační strusku, která se používá do stavebních materiálů. Tato technologie funguje zatím jako zkušební nebo poloprovozní zařízení.

Nejvíce se plazmovou vitrifikací zabývá USA a Francie. Přeměňují azbestové odpady. Vzniklý vitrifikační materiál se jmenuje Cofalit s využitím ve stavebních pracích. Využití této technologie pro zpracování komunálních, čistírenských odpadů není používáno. Nejvíce využitelné je pro problémový odpad malého množství, jako je třeba vojenský materiál či bojové látky. [1]

3.1.7 Mokrý oxidace

Ve vodě se pořádně promíchávají se zdrojem kyslíku organické látky a látky oxidovatelné anorganické. Mokrý oxidace probíhá při vyšších tlacích za teploty 150 – 325 °C. Při 150 – 200 °C se tato technologie používá u odvodňování kalů. Ve vyšších teplotách 200 – 280 °C se zpracovávají organické kyanidy, sulfidy, aromatické uhlovodíky. Pokud teplota vystoupá nad 280 °C, probíhá zde úplná oxidace pro odpady obsahující halogenové aromatické sloučeniny. Nejvhodnějším použitím této technologie je při zpracování odpadních vod, protože je zde řada těžce biologicky rozložitelných či toxických látek. [1]

3.1.8 Hydrolýza

Použita byla pouze u čistírenských kalů v pokusném měřítku. Využívá endotermní reakce, u čistírenských kalů probíhá v hodnotách 150 – 180 °C a tlaku 5 – 10 barů. Hydrolýza ztrácí svoji efektivnost, pokud je potřeba vyšší teploty. Snadno rozkládá lipidy, bílkoviny, celulózu. Zanikají patogenní mikroorganismy za přispění vysokého tlaku.

V Hamaru v Norsku byla použita hydrolýza v kombinaci s anaerobní digescí s limitem 70 Mg za den. [4]

3.2 Podrobný popis pyrolýzního zpracování odpadů

Pyrolýza vznikla z řeckého slova *pýr*, což znamená oheň a lysis je rozpuštění. Patří do termických procesů. Na odpad působí teplota, která je vyšší než termická stabilita odpadu. Z užšího pohledu je to fyzikálně-chemický děj, který probíhá v prostředí bez přístupu kyslíku, či oxidační sloučeniny jako je třeba CO₂.

Typ pyrolýzy v závislosti na teplotě:

- Nízkoteplotní – probíhá při teplotě do 500 °C
- Středněteplotní – probíhá při teplotě 500 – 800 °C
- Vysokoteplotní – probíhá při teplotě nad 800 °C [9]

Chemické pochody probíhající při pyrolýze:

- Sušení a fyzikální odštěpení vody při 100 – 200 °C
- Deoxidace, desulfurace, odštěpení oxidu uhličitého a vázané vody, depolymerace, začátek odštěpování H₂S za teploty 250 °C
- Vznik metanu a jiných alifatických uhlovodíků při 340 °C
- 380 °C karbonizační fáze
- 400 °C štěpení vazeb uhlík – dusík, uhlík - kyslík
- Butimenové složky se při 400 – 600 °C mění na pyrolýzní olej a dehet
- Při teplotě 600 °C probíhá krakování, vznikají plyny s krátkým uhlíkovým řetězcem, vznikají aromaty
- Nad 600 °C se etylen dimerizuje na buten, ten se dehydrogenuje na butadien, dienová reakce s etylenem na cyklohexan, termická aromatizace na benzen a aromaty výše vroucí. [10]

Nejčastěji probíhá ve zhuštěných vrstvách, rotačních pecích či fluidních vrstvách.

[4]

Reaktory s fluidním ložem mají několik výhod. Konstrukce pece je jednoduchá, ke složení odpadů je tolerantní, doba zdržení materiálu v reaktoru je kratší, izotermní proces. Mezi nevýhody řadíme vysoké náklady na přípravu vsázky, v plynu je vysoký obsah popelu. Teplota musí být přesně regulovaná, aby nedošlo k tavení materiálu fluidního lože a popele.

Reaktory s rotačním bubnem se ohřívají jak vně tak zevnitř. Použití na komunální i průmyslové odpady. Doba zdržení je velmi krátká, materiál je hrubý a jsou zde malé tepelné ztráty. V tomto typu reaktoru z důvodu rychlého odchodu plynů vzniká plyn, který není příliš hodnotný. [10]

Ve srovnání se spalovnou má pyrolýza řadu výhod. Produktem pyrolýzy je energeticky výhodný plyn, olej a pevný zuhelnatělý zbytek. V těchto produktech je energie chemicky vázaná. U spaloven jsou výsledným produktem spaliny a vzniká pouze přímé teplo. [5]

Plyn je energeticky bohatý, lze ho použít jako chemikálii, na výrobu elektrické energie nebo tepla pomocí kogenerační jednotky. Pyrolýzní jednotky jsou většinou založeny na termickém rozkladu materiálu v rotační peci, která je zahřívána spaliny. Vhodným materiálem je odpad, který nemá vysoký obsah škodlivin a nespéká se. [9]

Dle rychlosti ohřevu vstupního materiálu lze pyrolýzu rozdělit na:

- 1) Pomalou pyrolýzu, kde získáme nejvíce plynné složky
- 2) Rychlou pyrolýzu, kde získáme vysoký podíl olejné složky.

Rozdíl mezi rychlou a pomalou pyrolýzou biomasy:

- 1) U pomalé pyrolýzy probíhá nejprve sušení při 100 °C. Následně se teplota zvýší na 300 – 600 °C, za které probíhá termický rozklad. Vzniká pyrolýzní plyn v poměru 81 %, pyrolýzní olej 0 – 5 % a pyrolýzní koks 14 %. Doba zdržení je do 600 sekund.
- 2) Rychlá pyrolýza probíhá při teplotě 475 °C odplynění a následně zkapalnění. Objem pyrolýzního plynu je ve srovnání s pomalou pyrolýzou menší 15 – 20 %. Naproti tomu pyrolýzní olej je v mnohem větším zastoupení 65 – 75 %. Pyrolýzní koks je v podobném množství jako u pomalé 10 – 15 %. Doba zdržení je výrazně kratší, pohybuje se od 1 do 60 sekund. [6]

V posledních letech došlo k velkému vývoji této technologie, hlavně v oblasti zpracování biomasy v USA. Dále se také vyvíjí pyrolýza na zpracování odpadního dřeva.

Skrz zpřísnující se legislativu v oblasti ochrany vod před znečištěním stoupá zájem o termický rozklad chlévské mrvy a kejdy.

První pyrolýzní zařízení na Moravě na zpracování odpadů sestrojila Technická univerzita Ostrava. Pyrolýzní jednotka byla sestrojena na pneumatiky nebo plasty. Má patent od EU i od Spojených států amerických. V Ostravě se vývojem zabývají 10 let. [9]

3.3 Pyrolýzní zpracování odpadů, včetně nejmodernějších a vyvíjených technologií

3.3.1 Pyrolýza v legislativě

V Evropské legislativě není zakotvena žádná právní úprava, která by upravovala nejlepší dostupné techniky pro pyrolýzní jednotky. S tímto nezakotvením jsou také problémy na úřadech při povolování, kdy je nutná definice zařízení. Úřad považuje pyrolýzní proces za spalování a kvůli tomu jsou kladené nároky na schválení stejné jako u spalovny. [9]

3.3.2 Pyrolýzní zpracování dle různých druhů odpadů

3.3.2.1 Pyrolýza odpadních pneumatik

Testování na pyrolýzní jednotce Pyromatic začal zpracováním odpadních pneumatik. Důvodů výběru tohoto vstupního materiálu bylo několik. Množství odpadních pneumatik je rok od roku vyšší, většina z nich se ukládá na skládkách, jen asi 20 % je využita na výrobu asfaltu, v cementárnách jako palivo, surovina při gumárenském zpracování. Hromadění pneumatik je značný environmentální problém, nerozkládají se biologicky, netaví se ani nerozpouští. Všechny mají podobné složení a jsou snadno dostupné.

Složení pneumatik je z gumy, textilií a oceli. Gumy jsou složeny z eleastomerů, 27 % je syntetických a 14 % přírodních. Další složkou pneumatik je síra a složky obsahující síru, saze, oxid zinku, uhlovodíkové oleje a další chemické sloučeniny (antioxidanty, stabilizátory).

Zkoušky probíhaly za konstantní teploty. Každý pokus měl jinou teplotu, ale zachované ostatní parametry. Velikost do 30 mm, vlhkost 20 %, doba zdržení 40 minut,

při hmotnosti 20 kg, atd. Vznikl pyrolýzní uhlík, pyrolýzní kapalina a pyrolýzní plyn, jehož množství při vyšší teplotě stoupalo. [11]

3.3.2.2 Rychlá pyrolýza biomasy

Proces, kdy se surovina rychle zahřívá za nepřítomnosti vzduchu. Vzniká kondenzát, který má asi poloviční výhřevnosti ve srovnání s topným olejem vzniklým při konvekční (pomalé) pyrolýze. Hlavními podmínkami této technologie je teplota kolem 500 °C. [12] Teplotní rozmezí činí 450 – 650 °C v čase do 2 sekund. [4] Důležitá je jemně mletá vstupní surovina a dobré chlazení vznikajících pyrolýzních par pro vznik oleje. Olej je hlavní produkt, tvoří ho 80 % hmotnosti. Bývá nazýván jako bio – olej. [12]

Při rychlé pyrolýze hlavně z dřevních pilin je vyráběn vysoce kvalitní olej, který se v poslední době dostal i do komerčního využití. Pro pohon lodních velkoobjemových diesellových motorů nebo do spalovacích turbín. [9]

Pyrolýzní zařízení na zpracování odpadní biomasy dle užitého vzoru Juraje Ochváta se skládá z pece s izolovaným pláštěm, topnými prvky, vyhřívanou komorou, v níž je místo pro dva mobilní kontejnery. Tyto kontejnery jsou uzavřené, avšak otevíratelné s teplo – propustným pláštěm a dvěma vývody zplodin pyrolýzy s uzávěry. Tyto kontejnery s daným materiálem jsou vzduchotěsně odděleny prostřednictvím teplopropustného pláště od výhřevné komory a topného tělesa. Z každého mobilního kontejneru jdou 2 výpustě, na níž je primární výpust' opatřena kondenzátorovým uzávěrem a sekundární výpust' s plynovým uzávěrem. Na plynovou výpust' je napojen plynový zásobník pro shromažďování a koncentraci plynu vzniklého při pyrolýze. V případě primárního odvodného kanálu a dvou výpustí je umožněno, aby z první výpustě byl méně kvalitní vodný kondenzát skladován jinde než kondenzát z druhé výpustě, který je kvalitnější. Je umožněn téměř kontinuální provoz a tím pádem i lepší ekonomické využití. [13]

3.3.2.3 Zpracování tuhého komunálního odpadu pomocí pyrolýzy

Komunální odpad a jeho zpracování, zneškodnění, využití je problémem v každé zemi. Jeho složení je velmi rozmanité. Pyrolýza je považována za alternativní způsob jak komunální odpad zpracovat a mít z toho užitek, při tomto procesu dochází ke vzniku paliv, chemikálií. Oproti jiné metodě termického zpracování, jakou je například spalov-

na, je tento způsob k životnímu prostředí šetrnější. Pyrolýza je obecně proces termické degradace odpadů bez přístupu vzduchu. Výsledkem tohoto procesu jsou recyklovatelné produkty (tuhý uhlíkatý zbytek, olej, plyn).

Pyrolýza získává větší a větší pozornost malých měst kvůli dálkové dopravě odpadů na místo zneškodnění a velká města zase čelí problému s nalezením vhodných míst pro spalovny a skládky. Bylo provedeno velké množství studií na průmyslový odpad (pneumatiky, plasty). Pyrolýza tuhého komunálního odpadu je ovšem odlišná kvůli jeho heterogenitě.

Rovnice reakce 1:



V této rovnici Q znamená množství tepla, které je potřeba dodat. Lze ho rozdělit na tři části. Q_1 je teplo, které je potřeba dodat k vysušení vstupního odpadu. Nejvíce se musí dodávat potravinářskému odpadu a biologicky rozložitelnému komunálnímu odpadu (BRKO). Většinou se sušení odpadu provádí v přední části pyrolýzního reaktoru. Q_2 je teplo, které se dodává kvůli samotné pyrolýze. Třetí část Q_3 je ztrátové teplo při zahřívání reaktoru a při přenosu tepla.

Dle těchto výzkumů je patrné, že teplota pyrolýzy je 300 – 900 °C, nejčastěji však 500 – 550 °C pokud chceme více kapalných produktů. Při teplotách nad 700 °C je hlavním produktem syntézní plyn. Druhým parametrem je doba zdržení, která byla od několika sekund až po hodiny. Delší dobou se zlepšuje kvalita plynu, avšak zhoršuje kvalita kapalné frakce. Třetím parametrem je rychlost ohřevu. Při vyšší rychlosti ohřevu je vyšší obsah těkavých látek. [14]

3.3.2.4 Pyrolýza využitá v kovoprůmyslu

V tomto odvětví je pyrolýza využita komerčně na úpravu nekovového odpadu. Proces Alcan se využívá k odstranění nátěrů z hliníku. Pokud bude probíhat nejprve pyrolýza a potom separace je zde vysoká pravděpodobnost získání více kovů. [4]

3.3.2.5 Pyrolýza předsušeného čistírenského kalu

O pyrolýze čistírenských kalů se uvažuje jako o vhodné metodě nakládání s nimi. Důvodem je stále se zvyšující problém nakládání s kaly. Aplikace na půdu dříve hojně využívaná, je limitována stále se zvyšujícími limity a zákonem č. 185/2001 Sb.,

o odpadech, ve znění pozdějších právních předpisů. Využití nachází čistírenský kal také při rekultivaci skládek.

Laboratorní studie prováděná na Vysoké škole chemicko – technologické v Praze, se zaměřila na pyrolýzní zpracování předsušeného čistírenského kalu, za použití nízko-teplotní pyrolýzy při teplotách 350 – 550 °C. Čistírenský kal byl použit z ČOV v Praze.

Na kal bylo 5 hodin působeno teplotou 50 °C. Zdrojem tepla byl elektrický proud, který zahříval pec. Reaktor se vzorkem byl snadno vložitelný do pece, která již měla požadovanou teplotu. Chlazení výstupních produktů z pyrolýzy bylo pomocí dvou druhů chlazení. Nejdříve byly produkty chlazeny pomocí vodního chladiče a následně bylo použito vymrazování (směs tuhého CO₂ a etanolu).

Zařízení je složeno z elektrické pece a zařízení na regulaci pece. Vedle se nachází zařízení na spouštění reaktoru, pyrolýzní reaktor, na něm je umístěný termočlánek a milivoltmetr. Odvodné potrubí plynu, které jde přes vodní chladič, kde voda cirkuluje a plyn kondenzuje. Následuje baňka na kondenzát. Plyn, který nezkondenzoval, pokračuje dál přes trojcestný kohout, kde je možný odběr plynu k analýze nebo pokračuje do kryogenní jednotky. Po výstupu z kryogenní jednotky následuje opět trojcestný kohout, kde je možný odběr k analýze. Pro změření plynu následuje mokřý plynoměr a odtah plynu.

Rozbory produktů pyrolýzy tj. pyrolýzní olej, pyrolýzní plyn, pyrolýzní voda, pyrolýzní zbytek byly za působení teplot pyrolýzy 350 – 550 °C.

Analýza plynu prokázala majoritní složku CO₂ cca 30 – 45 % a při zvyšující se teplotě klesala. Metan byl zastoupen 20 – 30 %. Z dalších více zastoupených látek byl CO 15 – 25 % a vodík 5 – 15 %. Ostatní přítomné látky již nepřevyšovaly 1 % zastoupení.

Analýza pyrolýzního oleje prokázala poměrně vysokou výhřevnost (33 MJ/kg). Lze ho využít k energetickému využití. Obsah sloučenin je velice široký dle charakteru kalu a procesních podmínek. Pyrolýzní olej může být toxický, obsahovat nízkovroucí komponenty, organické perzistentní látky, tyto možné výskyty se musí respektovat při využívání.

Pyrolýzní voda z pyrolýzy kalů má oproti pyrolýzní vodě, vznikající při pyrolýze komunálního odpadu, nižší obsah organických chlorovaných látek, ale vyšší obsah mastných kyselin a dusíkatých sloučenin. Poměr BSK (biochemická spotřeba kyslíku) ukazuje na vysoký obsah organických, avšak dobře odbouratelných látek.

V tuhém pyrolýzním zbytku je vysoký obsah uhlíku, který by mohl být v budoucnu i průmyslově využit. Jsou zde i další anorganické složky jako například Fe. [15]

3.3.2.6 Pyrolýza odpadů z papírenského průmyslu

Papírenský kal je produkovaný ve velkém množství při zpracování papíru a celulózy. Papír je recyklovatelný výrobek, ale délky vláken se zkracují a tím klesá kvalita výrobku a vzniká odpad. Tento odpad se ukládá většinou na skládkách.

Proces pyrolýzy papírenského kalu je ovlivněný obsahem anorganických látek, jako třeba uhličitanu vápenatého. Vysoký obsah mají papírenské kaly z recyklovaného papíru, velmi nízký obsah anorganických látek v kalu je při zpracování celulózy z dřevěné hmoty. Pro pyrolýzu je velké množství anorganických látek vnímáno jako nevýhoda, snižuje se výnos bio – oleje.

Byl použitý kal s vysokým i nízkým obsahem anorganických látek. Nejdříve bylo na kal působeno teplotou 105 °C po dobu 12 hodin. Vysušený kal byl protlačený přes dvoumilimetrové síto. Následovala výroba pelet o velikosti 3 – 6 mm.

Experimenty rychlé pyrolýzy papírenských odpadních kalů s kapacitou 1 kg/h lze rozdělit na 4 hlavní části.

- 1) Podávání – je složeno z násypky a z šroubového motorizovaného podavače, který podává ½ kg/h, k zabránění úniku horkých par z reaktoru je použit přetlak dusíku.
- 2) Bublající reaktor s fluidním ložem – je zde použit křemičitý písek, který slouží jako teplotní médium, fluidizační médium je dusík. Před vstupem do reaktoru je dusík předehřát pomocí nerezového výměníku. Teplo dodávané bublajícímu reaktoru s fluidním ložem je získáno z válcové pece od 6,6 kW, která reaktor obaluje.
- 3) Separační systém uhlí – nachází se uvnitř reaktoru a zůstává zde většina uhlí
- 4) Kondenzační, kapalný řetězec – vstupuje sem malá část uhlí a pyrolýzní páry následuje prudké ochlazení, které zkondenzuje zkondenzovatelné složky pyrolýzního plynu za vzniku bio – oleje. Nezkondenzovaný plyn se následně vyčistí.

Bio – olej, který vznikl při pyrolýze, je podroben rozboru. Zjišťuje se obsah vody pomocí titrace, obsah uhelných zbytků se zjišťuje pomocí spalování v muflové pece při cca 525 °C, množství C, N, S, O, hmotnostní obsah popela a další analýzy.

Termogravimetrická studie odhalila velký význam dvou parametrů (rychlost ohřevu, velikost pelet).

Experimenty byly provedeny v různých teplotách. Pro papírenské kaly z recyklovaného papíru a kaly s nízkým obsahem anorganických látek je optimální teplota pyrolýzy pro maximální výnos bio – oleje 340 °C a 400 °C. Při teplotě 400 °C je výnos cca 40 % a při teplotě 340 °C cca 46 % bio – oleje. Bylo prokázáno, že Ca obsažený v anorganické složce silně podporuje primární pyrolýzní reakce.

Množství vystupujícího nekondenzovatelného plynu je v závislosti na velikosti peleta, čím menší peleta, tím větší množství nezkondenzovaného pyrolýzního plynu a menší množství bio – oleje. [16]

3.3.3 Zahraníční firmy a jejich technologie rychlé pyrolýzy

3.3.3.1 *Dynamotive Energy Systems:*

Vancouverská firma, která vyvíjí zařízení se stacionárními fluidními reaktory a vyvinula biotermální proces. První zařízení pro komerční účely prodaly firmě vyrábějící parkety v Ontariu. Toto zařízení za den zpracuje 100 Mg dřevěného odpadu a vyrobí plyn, koks a bio – olej. Tyto výstupy jsou v současnosti využívány pro výrobu energie a tepla v přidružené spalovně či plynové turbíně. Druhé zařízení bylo roku 2007 zkušebně spuštěno v blízkosti Toronta, jeho denní kapacita je 200 Mg. [4]

3.3.3.2 *Ensyn Corporation*

Tato firma se sídlem v Ottavě (Kanada) uvedla do provozu proces rychlého tepelného zpracování, k roku 2012 má 6 zařízení s fluidními reaktory. Největší zařízení s denní kapacitou 200 Mg biomasy se nachází v Renfrewu. Výstupy používají na výrobu pryskyřic, ko-polymerů a energie. Jiné zařízení s menší denní kapacitou (70 Mg) vyrábí z výstupu kapalná kouřová aroma. [4]

3.3.3.3 *BTG Genting Group*

Nizozemská firma se sídlem v Enschede spolu s univerzitou Twente vyvinuly způsob rychlé pyrolýzy. Princip spočívá v otáčivém kuželu a v písku, který přenáší energii. Do provozu zavedly tuto pyrolýzní technologii se zaměřením na zpracování prázdných slupek z plodů palmy olejné s denní kapacitou 50 Mg. Pyrolýzní olej se spaluje pro výrobu tepla. [4]

3.3.3.4 LUGRI/FZK

Tyto dvě společnosti se zaměřují na vývoj a výrobu biopaliva. Nejdříve se z decentralizované biomasy pyrolýzou získá koks a olej. Do horkého písku se přidává biomasa, která se v reaktoru Lugri-Ruhrgas během několika sekund ohřeje a následně reaktor opustí. Vzniklý plyn se využívá k ohřevu. Koks s olejem se v mísiči mísí a vzniká biokaše. Rychlá pyrolýza pro vznik biokaše je nutná z důvodu zachování poměru koksu a kondenzátu. Biokaše se dále využívá ve vysokotlakém zplynovači. Zde probíhá přeměna na syntézní plyn, který vzniká působením teplot nad 1 200 °C a podstechiometrickým obsahem kyslíku. Vzniklý plyn je čištěný, kondenzovaný a následně chemicky syntetizovaný. Vznikají syntézní pohonné hmoty. Jako vstupní produkty lze využít slámu, seno, dřevo, odpady z lepenky, papíru. [4]

3.3.4 Zahraníční firmy a jejich technologie pyrolýzy pneumatik a plastů

3.3.4.1 Kobe Steel

Kobe Steel je japonská firma, která testovala pyrolýzu pneumatik s hodinovou kapacitou 200 kg. Šnekovým podavačem jsou do otáčivého bubnu posunovány rozdrčené pneumatiky s velikostí do 30 mm. Vzduch je vytěsněn dusíkem. Zdržení pneumatik je 20 minut při 500 °C. Nejvyšší možná teplota v bubnu je 800 °C. V bubnu je zabudovaný seškrabávací systém, protože velké množství sazí, které obsahují pneumatiky, jsou napékavé. Pevný produkt pyrolýzy je ochlazený na 50 °C a posunut do zásobníku. Pyrolýzní plyn je chlazený, nejprve kondenzují vysoko vroucí uhlovodíky při 80 °C, usadí se zde i saze. Později kondenzují nízkovroucí uhlovodíky. Zbýlý plyn putuje přes louhovou pračku, tímto procesem se zachytí sirné sloučeniny. Byla zavedena i prototypová jednotka do provozu, avšak zařízení bylo z ekonomických důvodů po několika letech provozu odstaveno. Koks nebyl použitelný jako aktivní uhlí ani pro zpětnou výrobu pneumatik z důvodů nečistot. [10]

3.3.4.2 Mitsui Petrochemical Industries

V roce 1971 bylo u Tokia uvedeno do provozu prototypové zařízení Mitsui Plastic Waste Thermal Cracking Process (MWC process) s denní kapacitou 36 Mg. Používaným vstupem byl odpadní plast, polypropylen, ataktický polypropylen, nízkomolekulární polypropylen. Probíhá při teplotách 400 – 500 °C. Pyrolýzní plyn, ve kterém

kondenzují nejdříve výše vroucí uhlovodíky a vrací se zpět do reaktoru. V druhém kondenzátu se kondenzují nízkovroucí uhlovodíky, které se využívají místo topného oleje. Zbylý plyn se spaluje. Vznikly voskové zbytky z polymeru a uhlíku, využity k ohřevu reaktoru. U pyrolýzy nízkomolekulárního polyetyleny byly výstupy nejvíce zastoupeny v podobě oleje 85 %, voskový zbytek obsahoval pouze 10 % a plyn 5 %. [10]

3.3.4.3 MVU

Proces MVU – ROTOPYR měl v úmyslu zajistit produkty uplatňující se na trhu. MVU spolupracovala s Eisen-metall, která se zabývala recyklací neželezných kovů a firmou Rutgerswerke, která je největším producentem dehtu v Německu. Zajišťovala jakostní management pyrolýzního oleje. Jako vstupní suroviny byly použity pneumatiky, plasty, ale i staré kabely, drcené odpady, kyselinové pryskyřice z regenerace olejů. Všechny tyto vstupní materiály mají vysoký organický podíl. Vývoj této pyrolýzy byl podporovaný i ministerstvem pro výzkum a technologie. Pokusná jednotka měla hodinovou kapacitu 200 kg. Vstupní materiál byl do rotačního bubnu dávkován podávacím šnekem. Tuhé zbytky pyrolýzy jako jsou kovy, uhelný zbytek padaly na konci bubnu do vodního uzávěru. Výstupní plyn byl vedený do rotační pračky, kde byl ochlazený na 50 °C. Saze a uhlovodíky klesly na dno pračky. Další uhlovodíky zkondenzovaly po zchlazení na atmosférickou teplotu. Vodní a alkalická pračka se využívá k zachycení kyselých frakcí ze surového oleje. Plyn byl dále propírán pyrolýzním olejem, kde se zachytí benzen a jeho homology. Vyčištěný plyn byl použit k ohřívání rotačního bubnu. Dekantér byl využit k oddělení oleje a vody. Olej z praček byl destilován. Jako ideální doba zdržení se ukázala 45 minut při teplotě 650 °C. Austenická ocel byla použita na výrobu reaktoru a sklo na nízkoteplotní část pyrolýzního zařízení. Pyrolýza pneumatik měla přes 80 % koksu a dehet byl oproti dehtu v plastech také mnohem vyšší u pneumatik. Obsah chloru se ve všech testovaných surovinách pohyboval od 1 do 2 %. Pilotní projekt této pyrolýzy nebyl nikdy realizován v průmyslovém měřítku z důvodů materiálové nevyužitelnosti produktů pyrolýzy. [10]

3.3.4.4 DRP – Deutsche Reifen Pyrolyse

V Ebenhausenu bylo realizováno zařízení na hodinové zpracování 1 Mg opotřebovaných pneumatik a plastových odpadů. Zařízení je složeno ze dvou fluidních pecí, které pracují při teplotě 700 – 800 °C. Rozdrcené pneumatiky měly průměr do 700 mm.

Do provozu byly obě jednotky uvedeny 1984. Olej vznikající při pyrolýze pneumatik byl prodáván do sousední rafinérie. Později se pokusila DRP zpracovat plastovou frakci z komunálního odpadu. V těchto odpadech je vysoký obsah PVC a muselo být tudíž přidáváno vápno pro eliminaci Cl. Zařízení bylo nakonec z ekonomických důvodů odstaveno, protože nebyl možný kontinuální provoz z důvodu tavení CaCl_2 a zalepování fluidní vrstvy. [10]

3.3.5 Zahraníční firmy a jejich technologie pyrolýzy komunálních odpadů

3.3.5.1 Pilotní pyrolýzní zařízení vyvinuté v Tianjin v Číně

Slouží pro zpracování 5 Mg netříděného komunálního odpadu denně. Hlavní reaktor je trubkový se šroubem, zahřívání se uskutečňuje zvenku pomocí uhlí. Spaliny odchází jedním potrubím a plyn druhým. Vstupuje do vedlejšího reaktoru, kde se následně od plynu odděluje kondensát (viz Obr. 1). Ve výzkumu tohoto pilotního zařízení nikdo nepokračoval, protože tunelový reaktor se šroubem není úplně vhodný na netříděný typ odpadu. [14]

3.3.5.2 Honghoo technologie

Technologie je nazvána jako „čistá“ pyrolýza, probíhá v rotačních reaktorech v několika oddílech. Kapacita měla být 100 Mg denně, ale z důvodů použití surového odpadu byla vysoká vlhkost a s tím spojená delší doba zdržení, nakonec byla schopnost zpracování odpadů 30 Mg za den. Tato technologie je v přípravě uvedení na trh. Schéma této technologie (viz Obr. 2).

Druhy používaných reaktorů:

1) Reaktor s pevným ložem

Hlavní nevýhodou je pomalá rychlost ohřevu, s tím je spojený problém při větším objemu vzorku není rovnoměrné zahřátí. Tento reaktor se příliš nevyužívá.

2) Reaktor s rotační pecí

Probíhá zde dobré promíchání odpadů díky pomalému otáčení pece, flexibilní nastavení doby zdržení odpadu, snadná údržba. Rychlost ohřevu se pohybuje do 100 °C za minutu

3) Fluidní reaktory

Rychlost ohřevu je vysoká a probíhá zde i dobré promíchávání odpadů. Tyto reaktory se používají hlavně pro laboratorní účely, při sledování rychlé pyrolýzy. Použití je vhodné na pyrolýzní zpracování plastů, použití na komunální odpady není příliš vhodné.

4) Trubkové reaktory

Odpad se uvnitř pohybuje pomocí různých jízdních systémů, ale omezení je podobné jako u fluidních reaktorů, limitující je malý otvor.

5) Ostatní reaktory

Kromě výše uvedených jednostupňových reaktorů jsou i dvoustupňové či trojstupňové reaktory. Vícestupňové reaktory jsou důležité při nezávislém fungování pyrolýzy. [14]

3.3.5.3 Nexus

Technologie probíhá za teploty 500 °C v uzavřených zásobnících. Vstupující složkou je tuhý netříděný komunální odpad. Ohřev může být i několikahodinový. Výstup tvoří z 65 % plyn s párou a olejovými výpary. Zbýlých 35 % tvoří pevné částice (sklo, kov, popel, zuhelnatěný zbytek) Plyn se v kotly spaluje bez jakékoli úpravy. [4]

3.3.5.4 Thide Environnement

Teplota pyrolýzy je stejná jako u předcházejícího, tj. 500 °C. použitý je otáčivý bublen, který se zvenku ohřívá. Výnosové bilance nejsou dostupné. [4]

3.3.5.5 KWU – Siemens SBV

Pilotní zařízení o hodinové kapacitě 200 kg vyvinula v německém Ulm Wieblingu společnost Siemens. Zpracovává komunální odpady. Hlavní myšlenkou je výroba syntézního plynu a následná přeměna na elektrickou energii či spalování v kotli na výrobu tepla. Při pyrolýze je používaná rotační pec nepřímo ohřívána. Odpad se dopravuje šnekovým podavačem, který zároveň brání průniku atmosféry. Pevný produkt se dále zpracovává vytríděním od kovů, skla a kamenů. Zbýlý koks se rozemílá a spolu s nevyčištěným plynem spaluje v zařízení za pecí při 1 300 °C. Při těchto teplotách se minerální podíl roztaví. Spaliny prochází čištěním spalin. Na základě této pilotní pyrolýzní jednotky vybudoval Siemens první komerční zařízení na žádost německého svazu pro nakládání s odpady. Do provozu bylo uvedeno 1994 a mělo roční kapacitu 2 x 50 000 Mg. Během zkušebního provozu se ukázalo několik problémů hlavně

ve zpracování tuhých zbytků, provoz musel být pozastavený. Obnova nastala 1998, ale přesto slabá místa této technologie nebyla vychytaná a zadávací firma odstoupila od smlouvy. [10]

3.3.5.6 *Destrugas-Postup von Kroyer*

V roce 1971 instalovala dánská firma Pollution Control Ltd. pilotní zařízení s denní kapacitou 6 Mg. Použitý je reaktor šachtového typu pro zpracování smíšeného komunálního odpadu (SKO). Zdržení SKO v reaktoru bylo 24 hodin. Šachtová pec byla na horním konci otevřená a proti průniku atmosféry bráněná odpadem. Teplota ve spodní části dosahovala 900 °C. Vzniklý plyn byl v protiproudé pračce vyčištěn a využit k ohřevu reaktoru. [10]

3.3.5.7 *BKMI - Anlage Burgau*

Firma Babcock Krauss-Maffei Industrieanlagen vyrobila pyrolýzní zařízení na smíšený komunální odpad 1984 v Gunzburgu v Bavorsku (viz Obr. 3). Z důvodů relativně nízké teploty zabraňuje vzniku polycyklických aromatů a přechod těžkých kovů do plynné fáze. Teplota dvou linek s hodinovou kapacitou 3 Mg je 400 – 600 °C. Vápno, které bylo přidáváno do reaktoru, pohlcovalo kyselou fázi (HCl). Pyrolýzní plyn byl čištěn pomocí cyklonu a posléze spalován. Pyrolýzní buben ohřívají část kouřových plynů, před využitím k výrobě elektrického proudu. Pevný zbytek po pyrolýze vede do vodního uzávěru a je nadále využíván. Reaktor byl provozován v přetlaku, což vedlo k problémům s těsněním a regulací dávkování odpadů, topného systému, vynášení koksů. Technicky musela být upravena část, kde je koks vynášecím zařízením vynášený. Tvořil nánosy a ucpával se. Vytápění potrubí je ztěženo z důvodu nánosů a usazenin při kondenzaci z dehtu. Vápno, které je přidáváno ucpává plynové potrubí a z toho důvodu byl nainstalován keramický filtr. Postupně byly všechny problémy eliminovány a lze říci, že pyrolýzní zařízení již 20 let je v trvalém provozu. [10]

3.3.5.8 *Proces Ebara*

Ebara je japonským procesem pyrolýzy, která je aplikovaná pro průmyslové využití. Tento proces se také označuje jako Twin Rec a je kombinací Rowitec (fluidní vrstva s vnitřní cirkulací) a Meltex (tavení popílku). Na hrubě drcený materiál působí teplota 500 – 600 °C. Probíhá v pískovém fluidním loži. Nízká teplota umožňuje získat kovy

s vysokým výtěžkem bez tavení hliníku. Nízko výhřevný plyn je spalovaný v cyklonové komoře. V nízko výhřevném plynu je obsažený popílek a částičky koksu. Tyto části padají odstředivou silou v cyklonu dolů. Vitřifikovaný zbytek se tvoří z inertního nespálitelného zbytku kromě kovů již oddělených v první fázi. V roce 2000 bylo uvedeno do plného provozu na téměř každý druh odpadu na trhu. K roku 2008 bylo v provozu 6 zařízení s 16 linkami na pyrolýzu komunálního odpadu a tři zařízení se čtyřmi linkami na zpracování mědi. [10]

3.3.6 Zahraníční firmy a jejich technologie pyrolýzy TAP

3.3.6.1 Bergau

Společnost vybudovaná v roce 1992, která se zabývá pyrolýzou v rotační peci. Evropské emisní požadavky byly splněny, ale tato zařízení se jina nerozšířila. Na vině budou zřejmě vysoké náklady na stavbu a provoz. [4]

3.3.6.2 Termoselect

Při tomto procesu probíhá pyrolýza a následně zplyňování. Nejdříve se odpad vysuší a prochází odplyňujícím tunelem, kde je termicky rozložený. Následuje zplyňování ve vysokoteplotním reaktoru s kyslíkem. Vzniká syntézní plyn. Komerční využití této metody je otázkou blízké budoucnosti, avšak kvůli vysoké teplotě kolem 2 000°C a použití čistého kyslíku má tato technologie vysoké provozní náklady. [4]

3.3.6.3 Rowitec

Tento systém se hodí na zpracování tuhého komunálního odpadu, lze totiž vkládat odpad o velikosti 400 mm. Systém pracuje na principu skloněné bublající fluidní vrstvy. Zařízení jsou úspěšně v provozu, největší z nich má roční kapacitu 300 000 Mg tuhého komunálního odpadu. [4]

3.3.6.4 Compact Power

Systém, který využívá pyrolýzu i zplyňování. Pyrolýza probíhá v modulovaných trubkách. Každá trubka má kapacitu 500 kg/h. Výstupy jsou plyn, zuhelnatělé zbytky a inertní látky. Následuje zplyňování s reakcí plynu a vody. Pára pohání turbínu při výrobě energie. Tyto provozy jsou vhodné pro malé lokality. [4]

3.3.6.5 SWERF

Zpracování na tuhý komunální odpad za použití pyrolýzy a zplyňování. [4]

3.3.6.6 Waste Gen

V tomto procesu probíhá pyrolýza po vytřídění nevhodných materiálů. Pyrolýza se uskutečňuje v rotační peci, která je ohřívána z vnějšku. Plyn je použit v plynové turbíně nebo spalovací komoře. [4]

3.3.6.7 Energos

System s dvoukomorovou pyrolýzou, která probíhá ve spalovací peci. V primární komoře dochází ke spalování tuhých frakcí. V této fázi se uvolňují hořlavé plyny, které jsou spalovány v sekundární komoře. [4]

4 Materiál a metodika

4.1 České pyrolýzní technologie

4.1.1 Kontejnerové linky pyrolýzy vyvinuté PolyComp, a.s. Poděbrady spolu s VÚZT v.v.i. Praha

Při plnění projektu MPO v programu TIP „Výzkum technologie umožňující materiálové a energetické využití nerecyklovatelných plastových, celulózních a jiných obdobných odpadů.“ Vývojářem byl PolyComp, a.s. Poděbrady spolu s VÚZT v.v.i. Praha. Dvě linky kontejnerového provedení byly zhotoveny 2010 – 2011. Určeny byly pro vstupní surovinu TAP a tuhé biopalivo do 40 mm. Hodinová výkonost je 2 a 20 kg. Pro ohřev je využívána elektrická energie. Linka pracuje ve dvoustupňovém procesu. Pyrolýza probíhá při 500 – 650 °C a zplyňování jako druhý proces při 800 – 1 000 °C. Pyrolýzním výstupem je tuhý zbytek a plyn. Plyn je dále zpracováván propíráním v lehkých uhlovodících (zde zkušebně xylen). Následuje ochlazování plynu, vznikne kondenzát, který je předaný ke zplynění. Následně vzniklý syntézní plyn má výhřevnost srovnatelnou se zemním plynem. Tyto získané podklady budou důležité při navrhování provozní jednotky s hodinovým výkonem 250 kg vstupní hmoty. Předpokládá se, že by v ČR mohlo být postaveno 16 – 20 těchto jednotek. [4]

4.1.2 Pyromatic

Prototypová linka, kterou navrhli odborníci Klastř Envicrack. [4] Klastř Envicrack je zaměřený na alternativní zdroje energie s využitím odpadů. Odpady vhodné pro zpracování pyrolýzní technologií jsou pneumatiky, ostatní kaly (z ČOV, dekarbonizace, septiků a žump), nebezpečné kaly (z ČOV, dna nádrží na ropné látky, z barev a laků, brusné kaly), různé druhy olejů, tříděný komunální odpad. [17] Cílem je demonstrační provoz zařízení s výkonem 500 kg/h na tříděný odpad (viz Obr. 4).

Experimentální systém Pyromatic je automatizované zařízení s prozatímním hodinovým výkonem 30 – 150 kg. Jako vstupní materiál lze použít biomasu, určité složky komunálního odpadu, pryž, polyetylén, hnědé uhlí. Zařízení je složeno z několika částí od posunu materiálu přes násypku do reaktoru pomocí pásového dopravníku a následně šnekového dopravníku. Násypka slouží jako zásobník vstupního materiálu. Přístup

kyslíku je zde omezený, a pro vytěsnění zbylého kyslíku se používá inertní plyn. Reaktor je 4 m dlouhý. Materiál v reaktoru je pyrolyzovaný a současně posunovaný pomocí dvou primárních a jednoho sekundárního šneka. Austenitická žáruvzdorná ocel, ze které je vyrobený reaktor, odolá teplotám 1 100 °C. Výhodou šnekového dopravníku je možnost neustálého provozu a materiál je zahříván rovnoměrně. Z reaktoru je plyn přiváděný do cyklónu, dále je pak chlazen přes vzduchový a vodní chladič. Dochází zde ke kondenzaci uhlovodíků, zbylé uhlovodíky zůstanou ve formě plynu. Plyn se buď přímo využívá, nebo je skladovaný v plynojemu. Na spodní části reaktoru je vzduchotěsná nádoba, která slouží pro jímání pevného zbytku. Přepad do nádoby lze uzavřít, aby při vyprazdňování nádoby na tuhý zbytek nedošlo k přísátí vzduchu do reakční komory. Reakční prostor je ohříván zvenku pomocí pěti plynových sekcí. V každé sekci se nachází dva dvoupolohově regulovatelné hořáky, které využívají propan nebo zemní plyn. Teplota je měřena termočládky. Pomocí analyzátorů je měřena skladba plynu (CH₄, H₂, CO, CO₂).

Měření teploty probíhá pomocí pěti termočládků, které měří každou sekci. Termočládky jsou drátové a zasahují do vnitřního prostoru reaktoru. Další termočládky jsou umístěny na vnější straně reaktoru, zde náleží každé sekci dva termočládky zachycující teplotu. Vnějších termočládků je tedy deset.

Měření spotřeby plynu je prováděno více plynoměry. Plyn je měřený na jednotlivých hořácích v minutových intervalech, membránové plynoměry jsou umístěny v jednotlivých sekcích. Celková spotřeba plynu je měřena měřákem, který je umístěný před rozdělovacím potrubím. Hořáky se použili v první, druhé a třetí sekci u uhlí se trochu dohřívalo i čtvrtou a pátou sekci. U polyetylenu, který má malou specifickou hodnotu tepla, nevyužije naplno ani první 3 sekce.

Pro měření povrchové teploty byl použitý infračervený digitální teploměr, na který byla připojena sonda schopná měřit teploty do 500 °C. Teplota byla změřena na všech izolačních kazetách tvořících plášť.

Teplota odpadních spalin se pomocí termočládku měřila v minutových intervalech za ventilem. Nejvyšší teploty byly naměřeny při spalování uhlí a nejnižší teploty při spalování polyetylenu. Uhlí má vyšší specifickou teplotu a vyšší vlhkost a s tím spojené vyšší zahřívání.

Obsah kyslíku ve spalínách byl měřený v závislosti na otáčkách ventilátoru a otevření přívodu vzduchu s cílem zjistit přebytek vzduchu při spalování topného plynu.

Měření toku spalin probíhalo pomocí Prandtlovy trubice s mikro nanometrem. Objemový tok spalin byl získaný z naměřených hodnot statického a dynamického tlaku.

Při pyrolýze dochází ke sdílení třech druhů tepla, pro pokrytí tepelných ztát a zahřívání reaktoru. Teplo je přenášeno kondukcí neboli vedením, které způsobuje energetické působení molekul atomů, iontu elektronu navzájem. Tento pohyb je zapříčiněný rozdílem teplot v tuhém tělese nebo klidném plynu či kapalině. Přenos konvekcí neboli prouděním je způsoben rozdílem teplot proudící kapaliny či plynu. Během tohoto proudění je teplo předáváno nebo odebíráno z povrchu okolí. Probíhá zde zároveň i kondukční proudění v závislosti na rychlosti pohybu, čím rychlejší pohyb tím méně se přenos tepla uskutečňuje kondukcí. Posledním druhem přenosu tepla je pomocí radiace. K tomuto přenosu tepla dochází pomocí elektromagnetických vln. Tento přenos probíhá i ve vakuu narozdíl od předcházejících. Přenos probíhá pomocí fotonů, jejich rychlost se rovná rychlosti světla. Při přechodu elektronů je uvolněna energie, kterou pojme foton. Tepelná účinnost při porovnání pryže, uhlí a polyetylenu při 600 °C je asi 62 – 67 %. Nejvíce příznivá účinnost je u zpracování pryže. [5]

Energetické kvality produktu v závislosti na podmínkách v reaktoru. Pyrolýzní plyn má množství uhlovodíků, a to hlavně metanu, dále CO, H₂, CO₂, N₂. Jednotlivé složky pyrolýzního plynu lze rozdělit na hořlavé (CO, H₂, CH₄, aj), inertní (CO₂, N₂, H₂O) a podporující hoření (O₂). Z těchto údajů lze zjistit fyzikální a spalovací vlastnosti. Pomocí infračerveného spektrometru se měří obsah oxidu uhličitého, uhelnatého a metanu. Tepelně vodivostní analyzátor zjišťuje koncentraci vodíku. Celkový obsah organického uhlíku je pomocí plamenné ionizační detekce, kdy pomocí vodíkového plamene dochází ke spalování za vzniku elektrického proudu, který je měřen zesilovačem. Množství obsaženého oxidu uhelnatého a vodíku je 20 – 50 %. Při zvyšující se teplotě roste obsah vodíku. Nejvíce bývají v plynu obsaženy uhlíkaté látky 17 – 51 %, s největším podílem metanu. V pyrolýzním plynu pryže je vyšší obsah i ostatních látek jako je propan, butan, propylen, pentan. [5]

Plyn z pyrolýzy se hodnotí fyzikálními a spalovacími vlastnostmi. Výhřevnost lze považovat za jednu z nejdůležitějších energetických vlastností. Hodnota výhřevnosti závisí na vstupní surovině a teplotě procesu. U pyrolýzy probíhající při teplotě 600 °C je

výchřevnost plynu u pryže 33,8 MJ/m³_N, u hnědého uhlí 20,8 MJ/m³_N, a u biomasy je nejnižší 14,1 MJ/m³_N. V závislosti na výsledcích lze srovnat plyn z pyrolýzy pryže se zemním plynem, plyn z pyrolýzy hnědého uhlí určit jako velmi výhřevný a pyrolýzní plyn z biomasy je málo výhřevný plyn.

Pro spalování je důležité znát mez zápalnosti, která určuje množství přidání vzduchu k trvalému hoření. Pyrolýzní plyn má vysoký obsah oxidu uhelnatého a vodíku oproti zemnímu plynu a díky tomu lze více smísit se vzduchem pyrolýzní plyn než zemní plyn. Inertní část pyrolýzního plynu horní mez snižují a dolní zvyšují. Meze zápalnosti jsou označovány jako meze výbušnosti. Nejmenší nároky na množství kyslíku pro trvalé hoření má pyrolýzní plyn z biomasy.

Rychlost šíření plamene závisí na složení a koncentraci plynu ve směsi se vzduchem. Hořlavé složky zrychlují šíření plamene, naproti tomu inertní složky snižují rychlost šíření plamene. Plyn z pyrolýzy má vysokou rychlost spalování, protože obsahuje velké množství vodíku. Nejrychleji se plamen šíří v pyrolýzním plynu z hnědého uhlí. [5]

4.1.3 Vakuová pyrolýza

Vakuovou pyrolýzu v Čechách měla jako první společnost ELIAV, a.s., tato společnost provádí ekologickou likvidaci autovraků. Jednotka má kapacitu 250 kg/h, jako materiál se zde používají pneumatiky, plasty, molitany. Modelem pyrolýzní jednotky byl SOG 77-177 (viz Obr. 5). Výstupy z pyrolýzy je plyn, kapalina, uhlík, ocel z kordů. [9] Ocelové dráty u pneumatiky osobního automobilu váží asi 1,13 kg. Tato ocel je velmi kvalitní s vysokým obsahem uhlíku. [18] Obyvatelé přilehlých obcí měli k této technologii negativní postoj a i přes kladné vyjádření se tato záměr pozdržel. [9]

4.1.4 Technologie mnohokonturové cirkulační pyrolýzy (MCP) – Pyrolun

Tato technologie řídí hloubku destrukce vstupní hmoty vysoce molekulárních polymerových odpadů, nerozložitelných v přírodních podmínkách. Výstupem je vysoce hodnotné tekuté palivo, lehké frakce plynu a tuhý zbytek (polykarbon). Nepředpokládá se v této technologii při nejhlubším stupni rozkladu využití meziprostorových katalyzátorů. Tekuté palivo lehkých topných frakcí se z 1 Mg polymerních odpadů získá cca 650 – 850 kg. Toto palivo lze přimístit do standartního diesellového paliva pro motory s vnitřním spalováním, jakým jsou nákladní automobily v objemu do 20 %. Parafinové

sloučeniny jsou po přidání pyrolýzního paliva rozpouštěny a palivo se stává mrazuvzdorným. Lze palivo využít i pro vytápění. Tato technologie je již patentovaná a vypracovaná na průmyslové úrovni.

Konstrukce reaktorů je vyvinutá s denní kapacitou 1 – 24 Mg. Neustálý tepelný režim je zabezpečený díky vlastnímu tekutému palivu a pyrolýznímu plynu, který vzniká rozkladem organických odpadů. Zařízení je stavěné na kontinuální provoz (nepřetržitý) 24 hodin denně po celý rok. Výhodou zařízení je energetická soběstačnost. Kvůli inertnímu prostředí této technologie je omezena tvorba furanů.

Přednosti pyrolýzní jednotky:

- bezodpadová technologie
- je plně automatizovaná a celoroční
- energeticky nezávislá
- zpracovává odpady
- nulové emise
- dlouhá doba životnosti
- rychlá návratnost nákladů
- vysoká ekonomická výnosnost
- bez vzniku toxických plynů
- absence negativních vlivů na okolí, zcela bez zápachu
- vysoce bezpečné z důvodu nízkého přetlaku i podtlaku
- možnost likvidovat i nebezpečné či problémové odpady
- bez vzniku toxických plynů
- možnost využití zbytkového tepla
- kontinuální provoz snižuje náročnost skladování odpadů i výstupů

Zařízení, které je tvořeno z vysoce kvalitních materiálů z důvodu náročného a plně automatizovaného provozu, musí odolávat vysokým teplotám, mechanickému zatížení i fyzikálně-chemickým reakcím. Celá technologie je patentovaná. Vlastníka patentu na území Evropské unie zastupuje firma Nazar s.r.o., která v současné době spolupracuje s technickou univerzitou VŠB v Ostravě, kde je pilotní jednotka v provozu (viz Obr. 6). [19]

Ekologická bezpečnost technologického procesu zpracování domácích organických odpadů pomocí MCP:

- Na prvním místě při zpracování odpadů je ekologická bezpečnost. Při MCP se tento požadavek plní ve smyslu prohloubení destrukce odpadů. Toxické vysokomolekulární látky jsou rozštěpeny a mění se na nízkomolekulární. Z toho důvodu se snižuje jejich toxicita.
- Těkavé toxické látky nacházející se v pyrolýzním plynu se při teplotě 1 100 – 1 200 °C splují. Dochází k úplnému rozložení furanů a dioxinů
- Řeší problém s přeměnou či zneškodněním nebezpečných nebo infekčních látek, zároveň se získávají plynné, kapalně a pevné energetické produkty. Potřeba užívání přírodních zdrojů se zmenšuje.
- Proces probíhá v hermeticky uzavřeném reaktoru. Efektivní rozklad různých druhů odpadů dle chemického složení, z toho důvodu není vyžadováno třídění.
- Průběh je v 500 – 600 °C, kdy neprobíhá výpar těžkých kovů, díky uzavřenému cyklu není možný průnik škodlivin do prostředí.
- Odorometrická měření nezjistila v okruhu 3 m žádný zápach při provozu pyrolýzní jednotky.

Ekologická čistota prokarbonu byla prováděná analýza vodního výtoků z něj. Pevný vzorek byl z reaktoru odebrán po zchlazení na pokojovou teplotu. Kouřový plyn, který byl získán při hoření pyrolýzního plynu za nedostatku a nadbytku oxidličovadla. Odběry byly 15 cm nad ohněm hořáku při teplotě 1 200 °C.

Pokud bude spalování probíhat za nejhorších podmínek, obsah toxických látek v produktech je pod limitními hodnotami, vyjma oxidu uhličitého, který v neoptimálních podmínkách převyšuje přípustné hodnoty. [20]

Při provádění hygienické analýzy se zkoumal obsah formaldehydových ředidel v ovzduší při provozu, hladina hluku a vibrací. Odběr probíhal s rychlostí 1 l/min po dobu 10 minut na dva a dva pohlcovače. Jedna dvojice obsahovala kyselinu octovou na jímání uhlovodanů a druhá dvojice s obsahem vody na pohlcení fenolů a formaldehydů. Hodnota hluku na pracovišti při odběru vzduchu ze zařízení je v místnosti na pozadí 52 dBA. Vznikající hladina zvuku nepřevyšuje hygienickou hladinu vzduchu pro výrobní provozy. Hladina vibrace při pyrolýze nebyla na pracovišti

zjištěna. Z výsledků hygienické analýzy je patrné, že v tomto ohledu nemá pyrolýza negativní vliv na životní prostředí. [21]

4.2 Pyrolýza jako nástroj pro výrobu produktů

4.2.1 Výroba uhlíkatého materiálu dle užitého vzoru

Jedním ze způsobů jak se získával a získává uhlíkatý materiál je spalování dřeva za omezeného přístupu vzduchu, kdy se získá dřevěné uhlí. Koks se zase vyrábí při spalování uhlí bez dostatečného přístupu vzduchu.

Uhlíkaté hmoty lze získat i jiným způsobem a to bez hoření v uzavřeném prostoru. Do termické komory je vložen materiál, který je podroben působení vysokých teplot. Plyny, které zde vznikají, jsou odváděny pryč ze zahříváního prostoru. Pokud je teplota zahřívání nad 200 °C, vznikají již plyny, které jsou využitelné v energetice, protože mají vysoké množství uhlovodíků. Plyn se ochlazuje a část z něho kondenzuje. Zkondenzovaná látka má podobu olejnatých látek, které lze využít jako palivo nebo mazivo. Po zchlazení termické komory lze odebrat i tuhé zbytky, které zbyly po původním materiálu. Tento zuhelnatělý materiál je složený převážně z uhlíku.

Toto zařízení, které je určeno pro výrobu uhlíkatého materiálu obsahuje otevíratelnou a uzavíratelnou komoru, bezplamennou pec s izolovaným pláštěm, topná tělesa pro ohřev materiálu, plynový vývod, chladič s odlučovačem kondenzátu.

Zařízení může sloužit jako mobilní jednotka na podvozku s možností převážení z místa na místo (ke skládkám, k ČOV, do průmyslových či hospodářských provozů). Zpracovávají se zde různé druhy odpadů s vysokým obsahem uhlíkatých látek, jakými jsou například obilná zrna, kaly z lihovarů, pryž z pneumatik, kafilerní odpady, biomasa, atd.

Celý proces získávání uhlíkaté hmoty pro průmysl začíná nejprve rozdrčením výchozího materiálu pro lepší přístup tepla. Rozdrčený materiál se rozdělí do jednotlivých mobilních zásobníků. Nejdříve se nechá zahřát termická komora na 190 – 210 °C. Do pracovních komor, v níž obsažených, se vloží mobilní zásobníky s materiálem a vše se uzavře. V první fázi termického rozkladu během 140 – 160 minut zvýšíme teplotu na 490 – 510 °C. Z materiálu začne unikat vodní pára, těkavé látky a následně i plyny, které lze využít jako palivo. Vodní pára a těkavé látky se odvádějí mimo úložiště plynu, aby nebyla snížena jeho jakost, po využití tepla jsou likvidovány.

V druhé fázi se zvýší teplota na 590 – 610 °C během 140 – 160 minut. Jsou zde uvolňovány kvalitní frakce plynů. Ve třetí a čtvrté fázi termického rozkladu materiálu se teplota během 140 – 160 minut sníží na 190 – 210 °C. Poté se může termická komora otevřít a z pracovní komory vyjmout mobilní zásobníky, vysype se z nich uhlíkatý zbytek a mohou se znovu naplnit a použít. Zahřívání i ochlazování musí probíhat postupně. [22]

Biouhel, který vznikl pyrolýzou biomasy, je vlastnostmi podobný dřevěnému uhlí a má jemnozrnnou podobu. Hlavním důvodem výroby biouhlu je několikanásobně větší upoutání uhlíku, ve srovnání s upoutáním v původní biomase. Mikroorganismy na biouhel téměř nepůsobí, v půdě má střední dobu životnosti, sta až tisíce let. Biouhel se v půdě vyskytuje přirozeně, vznikl působením přírodních požárů. Pyrolýzní výroba biouhlu a následná aplikace do půdy má velké přínosy. Půda zvyšuje svoji produktivitu a to hlavně na málo úrodných půdách. Uhlík, který je vázaný v biouhlu, je důležitá pro snížení změn klimatu. Nemalou roli hraje i v energetice a odpadovém hospodářství. Biouhel lze využít ve zranitelných oblastech s vysokým obsahem fosforu a dusíku ve vodě. Eutrofizaci se zamezí, protože v biouhlu uložené živiny se nevymílají. Při pyrolýze vzniká kromě biouhlu i bioenergie, která se využívá například na výrobu tepla přílehlých zemědělských podniků.

V globálním měřítku výroba biouhlu není provozována. Problém se zavedením této technologie je i z důvodu obavy, aby nedošlo k masivnímu spalování všeho (př. zbytky, které brání erozi). Několik plně fungujících systémů využití biouhlu na světě existuje. Pro zavedení této technologie se čelí několika překážkám. Pyrolýzních jednotek na správné úrovni je nedostatek, málo je také farem velkých velikostí, atd. [23]

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

5.1 Limity praktického využití pyrolýzních jednotek

Významným limitujícím faktorem v České republice jsou úřady, které se zavedením pyrolýzních jednotek na zpracování odpadů nesouhlasí. V naší legislativě zatím neexistuje právní předpis, který by upravoval použití pyrolýzních linek.

Většina pyrolýzních jednotek je budována v poměrně malých rozměrech a je tedy problém s větším odpadem, který se před vsázkou musí upravovat drcením.

Snaha docílit co nejrychlejší pyrolýzy mívá za následek ucpávání zařízení a spékání materiálu. Vnitřní materiál nebude termicky zpracován a vně bude spálen.

Komunální odpad má vysokou heretogenitu složení a je tedy problém s vybalancováním podmínek jako jsou např. teplota ohřevu, rychlost ohřevu, doba zdržení, aby bylo dosaženo co nejvyššího a největšího množství produktů.

Biologický rozložitelný odpad má zase velmi vysokou vlhkost a je potřeba vysoké množství energie na jeho vysušení před pyrolýzním zpracováním. Není to však neřešitelný problém. Pro vysušení daného materiálu lze využít tepla z chlazení pyrolýzních jednotek

Za limit praktického využití lze považovat také společnost, která s touto technologií bude podnikat. Pokud nebude schopna prodat produkty pyrolýzy a prosadit se s nimi na trhu, bude nucena zařízení uzavřít. [26]

5.2 Příklad využití pyrolýzy v praxi

Pyrolýzu bioodpadu, lze považovat za možnou ekonomickou vzpruhu pro podnikatele v živočišné výrobě. Pokud si vezmeme, že mléko je od chovatelů vykupováno přibližně za 7,32 Kč/l. Po zaplacení všech nákladů potřebují prodat mléko za 7,30 Kč/l. Jejich zisk je tedy 0,02 Kč/l, což není příliš výnosné a bez dotací neúnosné. Než vyroste z telete kráva a začne produkovat mléko, trvá to cca 2 roky. Chovatelé tyto dva roky mají pouze náklady a výnosy žádné. Změna by nastala, pokud by chovatelé začali využívat výkaly, které jim telata a krávy produkují. Kráva vyprodukuje v průměru 15 000 výkalů za rok.

Když vložíme výkaly do pyrolýzní jednotky, výstupy budou asi v poměru 1/3. Za rok to dělá asi 5 000 kg plynu, což je asi 6 000 m³. Polovina plynu je převedena

v kogenerační jednotce na elektrickou energii potřebnou na fungování pyrolytické jednotky. Druhou polovinu plynu může prodat za symbolickou cenu 10 Kč/m³. Z 3 000 m³ vydělá chovatel 30 000 Kč/rok/kus.

Vodu (olej), která tvoří další třetinu výstupů, lze použít jako závlivku na pole, protože obsahuje velké množství minerálů.

Posledním výstupem je uhlík, který lze také aplikovat na pole, kde se bude postupně uvolňovat jako živina, nebo ho lze velmi dobře prodat. Například akvaristický uhlík používaný do filtrů, se v průměru prodává za 180 Kč/100 g.

Chovatel by si v tomto případě mohl dovolit prodávat mléko klidně za 7 Kč/l pokud by odběratel vzal vše, vydělával by na prodeji plynu, popř. uhlíku a ještě si mohl zadarmo vytápět svůj areál, protože by měl přebytečné teplo z pyrolyzní jednotky.

Tento příklad by šel aplikovat i na ostatní chovy hospodářských zvířat. Odpadl by problém konkurenceschopnosti našich chovatelů oproti zahraničním a to i bez nutnosti dotací. [26]

6 ZÁVĚR

V České republice je problematika termického zpracování odpadů řešena více a více a to hlavně z důvodu vyřešení problémů s odpady a to především směsnými komunálními odpady, které by se od roku 2024 neměly již na skládku ukládat.

Všechny pyrolýzní jednotky s pyrolýzními technologiemi v ČR nefungují prozatím komerčně. Jsou to většinou pouze prototypová zařízení. Pokud by do budoucna začaly fungovat, myslím si, že by to bylo velkým přínosem pro životní prostředí.

Mezi hlavní výhody patří možnost uchování energie pro pozdější využití. Spalovna produkuje pouze přímé teplo a možnost uchování energie nemá. Při pyrolýze vzniknou produkty, které jsou téměř všechny spalitelné. Jejich výhřevnost se odvíjí především od vstupního materiálu a teploty, která na vsázku působí. Plyn lze spalovat podobně jako propan – butan, který je dostupný v plynových bombách. Olej se může přidávat do pohonných hmot, nebo využít jako topný olej či jako mazivo. Odděluje se také voda, která jako jediná energeticky využít nejde, ale není jí velké množství. Posledním výstupem je pevná složka – uhlík, který se může využít jako dřevěné uhlí, koks. Obecně lze říci, že výstup plynu, oleje a uhlíku je přibližně ve třetinách.

Za hlavní nevýhody můžeme při pyrolýze považovat časovou náročnost, nevyřešení některých technických zádrhelů, potřeba školení obsluhy, aby nedošlo k havárii při špatné manipulaci.

Já osobně si myslím, že pokud začnou pyrolýzní technologie fungovat a využívat se, bude to velký přínos pro společnost. I malé obce by mohly mít pyrolýzní jednotku, ve které by se odpad zpracovával. Výstupní produkty by se daly převést na elektrickou energii pomocí kogenerační jednotky. Takto získanou elektrickou energii by vesnice prodala do veřejné sítě za vyšší cenu podobně jako u solární energie. Elektrickou energii by obec odebírala stále, avšak za nižší cenu než ji prodala, díky čemuž by získala ekonomický bonus do obecního rozpočtu.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KURASĚ, Mečislav. *Odpady a jejich zpracování*. Vyd. 1. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014, 343 s. ISBN 978-80-86832-80-7.
- [2] JUCHELKOVÁ, Dagmar. *Likvidace a využití odpadů*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000, 73 s. ISBN 80-7078-747-3.
- [3] OBROUČKA, Karel. *Termické zneškodňování odpadů*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1997, 140 s. ISBN 80-7078-505-5.
- [4] JEVIČ, Petr. *Termolýzní zpracování zbytkové biomasy, separovaných plastových a celulóзовých podílů tuhého komunálního odpadu pro energetické a surovinové účely: certifikovaná metodika*. Vyd. 1. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2012, 49 s. ISBN 978-80-86884-67-7.
- [5] HONUS, Stanislav. *Metoda zvýšení efektivity termických procesů v reaktorech pro energetické konverze: Method for increase in efficiency of thermo processes in reactors of energy conversion*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012, 79 s. ISBN 978-80-248-2746-9.
- [6] KOPPE, Klaus a Dagmar JUCHELKOVÁ. *Bioenergie: Handbuch: Deutsch-Tschechisch: Formeln, Grafiken und Tabellen = Energie biomasy: příručka: německo-česká: rovnice, grafy a tabulky*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011, 180 s. ISBN 978-80-248-2457-4.
- [7] JANOVSKEÝ, J. *Termické využití odpadů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Kracík.
- [8] JÍLKOVÁ, Lenka, Karel Ciahotný, *Technologie pro pyrolýzu paliv a odpadů*. [online]. 2012, 74-80 [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: paliva.vscht.cz/download.php?=&=76
- [9] ŠEJVĽ, Radovan: *Energie z odpadů II* [online]. 2013, [cit. 2015-02-05]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energie-z-odpadu-ii>>. ISSN: 1801-2655.
- [10] VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA FAKULTA STROJNÍ a FITE A.S. *Studie zařízení na pyrolytický rozklad odpadů I*. [online]. 2010, [cit. 2015-02-09] Dostupné z: http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/36/10821-003_pyrolyza_i.pdf
- [11] Anonym. *Pyrolýza odpadů - moderní způsob jejich zneškodnění* [online]. 2013, [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/odpady/94618/pyrolyza-odpadu-moderni-zpusob-jejich-zneskodneni>
- [12] BRIDGWATER, A. *Fast pyrolysis processes for biomass*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2000, roč. 4, č. 1, s. 1-73. DOI: 10.1016/S1364-

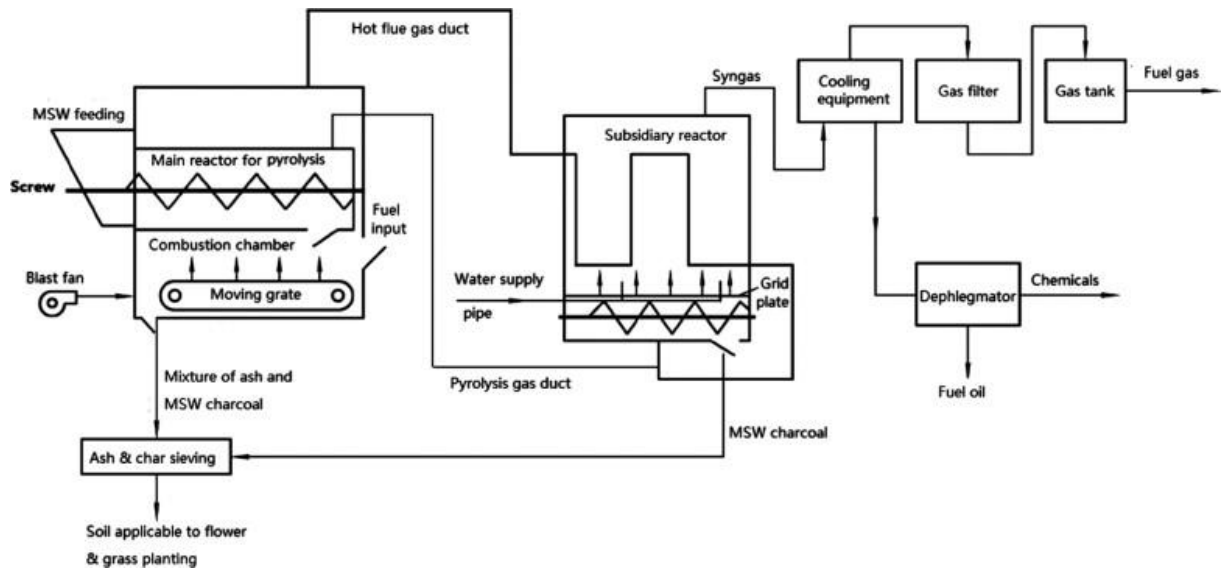
- 0321(99)00007-6. [cit. 2015-01-20]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032199000076>
- [13] OCHVÁT, Juraj. *Zařízení na tepelný rozklad materiálů, zejména biomasy* [patent]. Užitný vzor, CZ 22609 U1. Uděleno 22. 08. 2011. Dostupné z: <http://spisy.upv.cz/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0022/uv022609.pdf>
- [14] CHEN, Dezhen, Lijie YIN, Huan WANG a Pinjing HE. Waste Management. *Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review*. Elsevier, 2014, roč. 34, č. 12, s. 2466-2486. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X14003596#>
- [15] SKOBLIA, Siarhei, Petr BURYAN, Marek STAF. Paliva 3. *Laboratorní studie pyrolýzy předsušeného čistírenského kalu*[online]. VŠCHT Praha, 2011, s. 42-46 [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: paliva.vscht.cz/download.php?id=43
- [16] RIDOUT, Angelo J., Marion CARRIER a Johann GÖRGENS. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. Fast pyrolysis of low and high ash paper waste sludge: Influence of reactor temperature and pellet size. 2015, roč. 111, s. 64-75. DOI: 10.1016/j.jaap.2014.12.010. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016523701400360X>
- [17] Pyrolýza. *Klastr Envicrack* [online]. 2010 [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.envicrack.cz/pyrolyza.html>
- [18] PROKEŠ, Karel: Vakuová pyrolýza a její realizace v ČR. *Biom.cz* [online]. 2012-04-02 [cit. 2015-02-09]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vakuova-pyrolyza-a-jeji-realizace-v-cr>>. ISSN: 1801-2655.
- [19] Popis unikátní technologie. *Pyrolun* [online]. 2015 [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.pyrolun.cz/popis-unikatni-technologie/>
- [20] ANONYM, *Zajištění ekologické bezpečnosti technologického procesu zpracování domácích organických odpadů za pomoci metody mnohokonturové cirkulární pyrolýzy*. 2015. Dostupné z: http://www.pyrolun.cz/wpcontent/uploads/2013/07/3_zajisteni_ekologicke_bezpecnosti_technologickeho_procesu1.pdf
- [21] ANONYM, *Hygienická analýza - hluk a škodliviny pyrolýzní jednotky*. 2015. Dostupné z: http://www.pyrolun.cz/wp-content/uploads/2013/07/2_vysledky-hygincke_analyzy_hluk_skodliviny-.pdf

- [22] OCHVÁT, Juraj. *Zařízení na výrobu uhlíkatého materiálu pro průmysl* [patent]. Užitný vzor, CZ 26056 U1. Uděleno 04. 11. 2013. Dostupné z: <http://spisy.upv.cz/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0026/uv026056.pdf>
- [23] LEHMANN, Johannese, Vojtěch KLUSÁK a Jan HOLLAN. *Biouhel*. In: [online]. 2009 [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: <http://amper.ped.muni.cz/gw/uhel/Lehmann.cz.pdf>
- [24] STAF, Marek: *Výzkum termické konverze odpadní biomasy na plynná a kapalná paliva*. Biom.cz [online]. 2005-01-12 [cit. 2015-02-16]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-termicke-konverze-odpadni-biomasy-na-plynna-a-kapalna-paliva>>. ISSN: 1801-2655
- [25] ŠEJVL, Radovan: *Bez energetického využití odpadů se neobejdeme*. Biom.cz [online]. 2013-06-24 [cit. 2015-02-16]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bez-energetickeho-vyuziti-odpadu-se-neobejdeme>>. ISSN: 1801-2655.
- [26] Kateřina Heralová

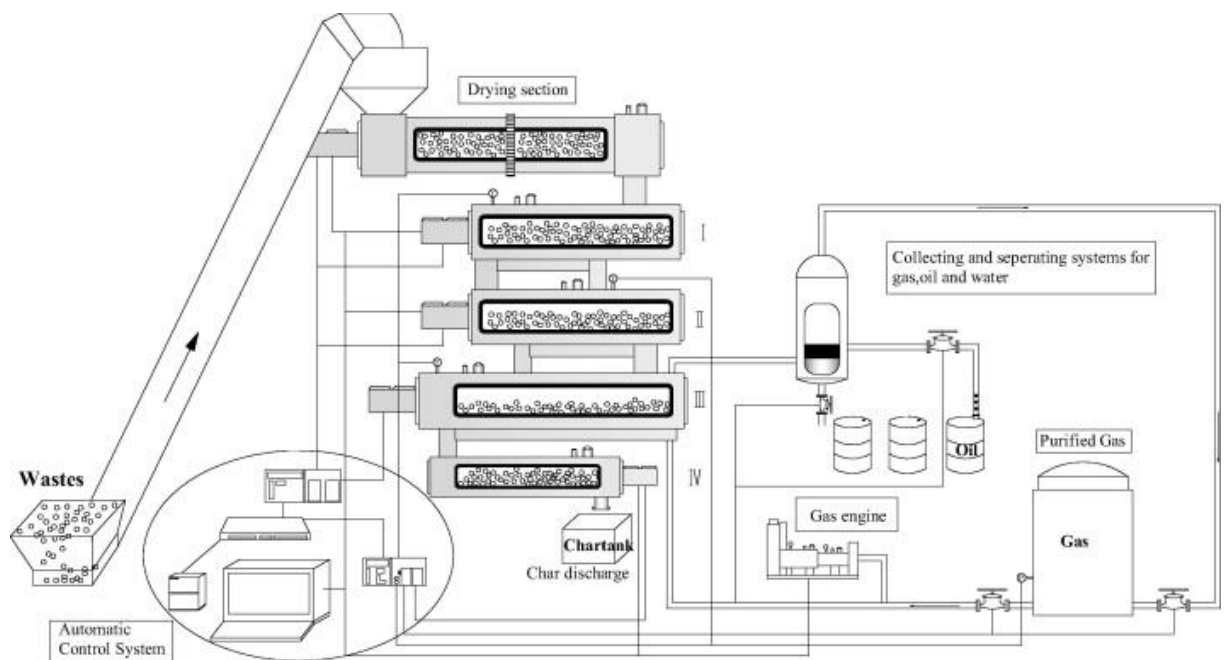
8 Seznam příloh

Schéma pilotní jednotky pyrolýzy vyvinuté v tianjin v číně	47
Schéma technologie honghoo	47
Schéma pyrolýzní jednotky babcock	48
Zařízení pyromatic na pyrolýzní zpracování komunálních odpadů.....	48
Pyrolýzní demonstrační jednotka sog 77-177.....	49
Technologie mnohokonturové cirkulační pyrolýzy (mcp)	49

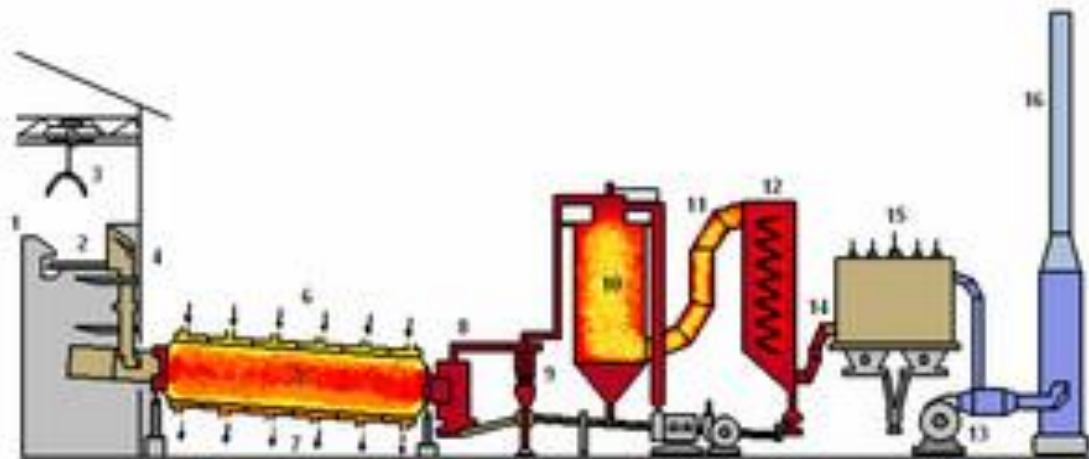
9 PŘÍLOHY:



Obrázek 1 Schéma pilotní jednotky pyrolýzy vyvinuté v Tianjin v Číně (Lietal., 2007) [14]



Obrázek 2 Schéma technologie Honghoo (Chenetal., 2013) [14]



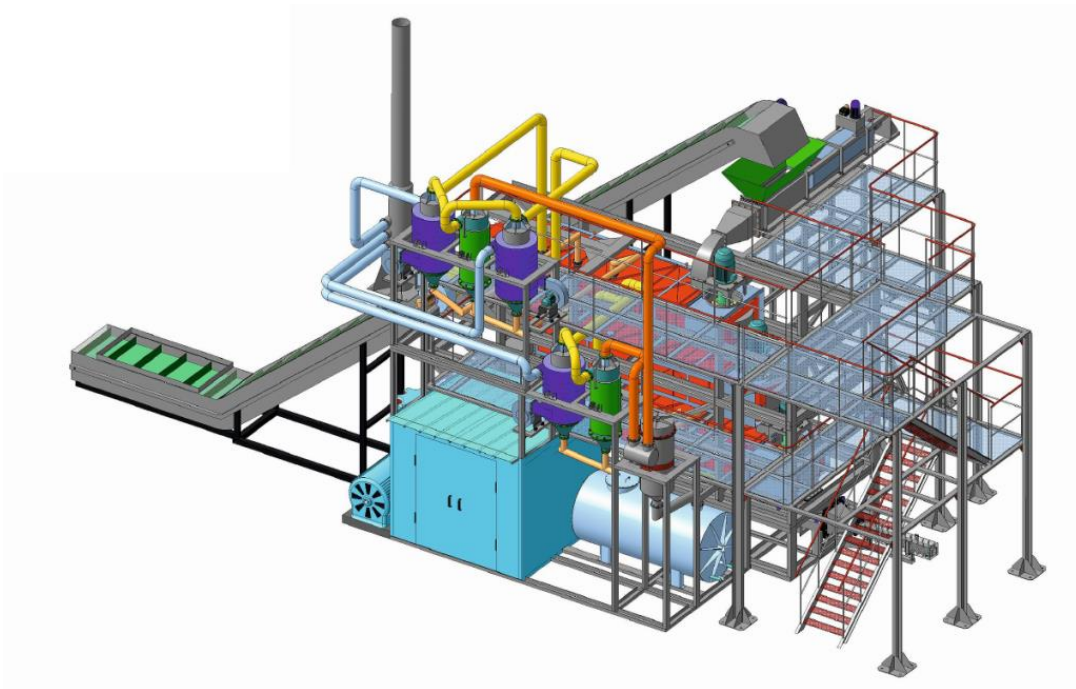
Obrázek 3 Schéma pyrolýzní jednotky Babcock [24]



Obrázek 4 Zařízení Pyromatic na pyrolýzní zpracování komunálních odpadů [25]



Obrázek 5 Pyrolýzní demonstrační jednotka SOG 77-177 [9]



Obrázek 6 Technologie mnohokonturové cirkulační pyrolýzy (MCP) [19]