

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



Využití pyrolýzy pro zneškodnění použitých plastových odpadů a pneumatik.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D

Bakalant: Pavlína Lindnerová

2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pavλίna Lindnerová, DiS.

Aplikovaná ekologie

Název práce

Využití pyrolýzy pro zneškodnění odpadů, použitých plastových odpadů a opotřebených pneumatik

Název anglicky

Using pyrolysis to dispose of waste, plastic waste and use tyres.

Cíle práce

Analýza pyrolýzní technologie ve zpracování odpadů s dopadem na životní prostředí.

Metodika

K vypracování daného tématu bude čerpáno z odborné literatury, důležitým zdrojem pak bude analýza kladů a záporů pyrolýzní technologie ve zpracování odpadů.

Doporučený rozsah práce

35 stran textu

Klíčová slova

pyrolýza, metody zpracování odpadů, recyklační technologie

Doporučené zdroje informací

OBROUČKA, Karel. Termické odstraňování a energetické využívání odpadů. 1. vyd. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2001. 140 s. : il. ISBN 80-248-0009-8
STRAKA, F. *Metody likvidace a energetického využití odpadů. Díl 1., Sklárky*. Praha: KONEKO, 1991.
Vannessa Goodship. Introduction to Plastics Recycling: Second edition. Smithers Rapra Press; 2nd edition (April 18, 2008) ISBN-10: 184735078X

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 7. 9. 2016

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 10. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 20. 04. 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod odborným vedením vedoucího práce a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje z verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne

.....

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat především svému vedoucímu doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, rady a čas, který mi věnoval. Dále bych chtěla poděkovat Městské knihovně v Lounech za pomoc a ochotu při shánění odborné literatury a mé rodině za trpělivost a toleranci.

V Praze dne

.....

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o využitelnosti odpadů a jejich proměně na zdroje. Mapuje pyrolýzy a jejich možnosti na zpracování a využití odpadu.

Abstract

This bachelor thesis discusses the usability of the waste and their transformation on the source. Maps pyrolysis and their options for treatment and recovery of waste.

Klíčová slova: odpadní suroviny, technologie pyrolýzy, vlastnosti plastů, polymerace, polykondenzace

Keywords: waste materials, pyrolysis technology, properties of plastic, polymerization, polycondensation

Obsah

Úvod.....	1
Cíle práce.....	2
1 Plasty	3
1.1 Dělení plastů	4
1.2 Vlastnosti plastů	6
1.2.1 Polymerace	6
1.2.2 Polykondenzace.....	8
1.2.3 Polyadice	8
2 Odpady z plastů.....	8
2.1 Vznik odpadů a zacházení s nimi	10
2.1.1 Skládky	11
2.1.2 Pyrolytický rozklad.....	11
2.1.3 Hydrolytický rozklad	11
2.1.4 Oxidační rozklad	12
2.1.5 Biologický rozklad polymerů.....	12
2.1.6 Ekonomické a ekologické hlediska likvidace a recyklace odpadů	13
3 Pyrolýza	14
3.1 Dějiny pyrolýzy.....	16
3.2 Technologie pyrolýzy	18
3.2.1 Rychlá a pomalá pyrolýza	18
3.2.2 Technologie zpracování uhlí.....	19
3.2.3 Technologie zpracování biomasy	20
4 Využití pyrolýzy při zneškodnění odpadů	27
4.1 Technologie Pyromatic	27
4.2 Technologie Pyrolun	31
Diskuze.....	37
Závěr	40
Seznam literatury	41

Úvod

Plasty se těší velké popularitě díky svým atributům, jako jsou trvanlivost, pevnost, univerzálnost a v první řadě poměrně nízká cena. Jejich neustále rostoucí množství vede také k vytváření odpadů. Nejrozšířenější formou likvidace odpadů je jejich skladování a dlouhá životnost plastů má za následek nežádoucí vliv na životní prostředí, což je velice závažný problém. Další forma likvidace nežádoucího odpadu je spalování. Dnešní spalovací technologie jsou relativně ekologické, ale jedná se pouze o zpracování odpadu, při kterém se získá teplo či elektřina.

Cílem likvidace a recyklace odpadů by mělo být nejen se odpadů zbavit, ale současně z nich vytěžit maximum pro výrobu energie či energeticky cenných látek, jenž se dají dále využít. Tento cíl by mohli naplnit pyrolytické technologie, o kterých se zmiňuje tato práce.

Cíle práce

Cílem mé bakalářské práce je zpracovat analýzu pyrolýzních technologií ve zpracování odpadů s dopadem na životní prostředí.

Tyto základní informace chci využít pro diplomovou práci, kde bych se chtěla hlouběji zabývat výzkumem pyrolýzní jednotky v praxi, uvedenou v letošním roce do provozu firmou Freston s.r.o., kde pracuji.

1 Plasty

Plasty jsou makromolekulární látky vyrobené z přírodních či syntetických monomerů rozdílnými metodami (polymerací, polykondenzací, polyadící, atd.) (Štěpek, 1989).

Přednosti plastů:

- malá měrná hmotnost
- skvělé vlastnosti zpracování
- levná výroba
- výborné tepelné a elektrické izolační vlastnosti
- skvělá korozní odolnost
- tlumí rázy a vibrace

Nedostatky plastů

- hořlavost
- tepelná nestálost
- malé mechanické vlastnosti (pevnost, tvrdost)
- ekologická zátěž (neexistuje přirozený rozklad - nezbytná, přesto limitovaná recyklace)
- tečení (creep) (Bradáč, 2016)



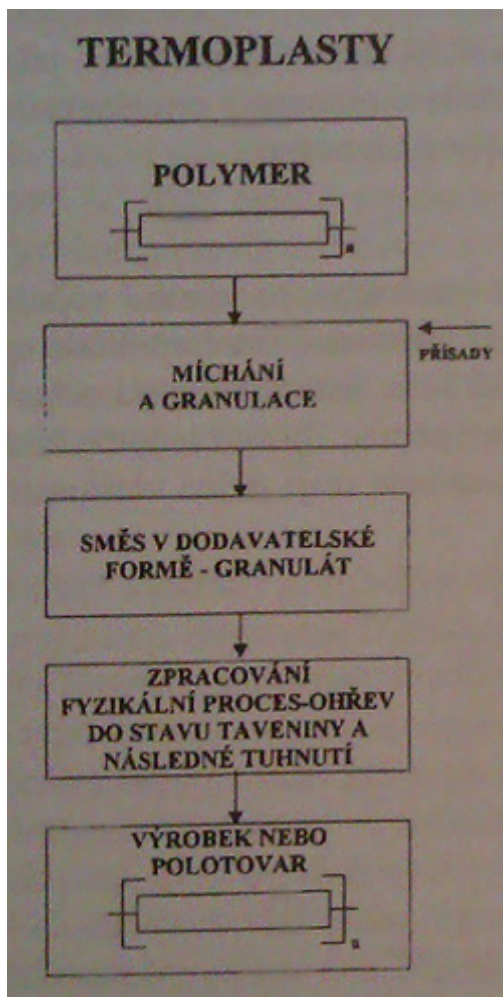
Zdroj: http://www.zivefirmy.cz/kovelis-plasty_f1032973

Obr. 1 Příklady výrobků z plastů

1.1 Dělení plastů

Plasty se dělí na termoplasty a reaktoplasty.

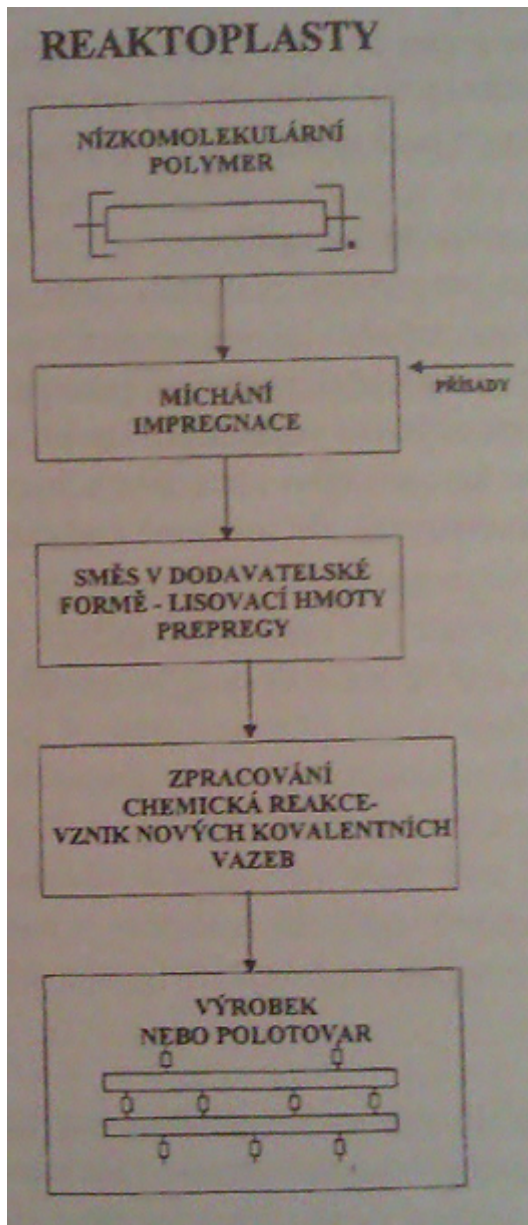
Termoplasty je možné opakovaně ohřevem změnit do stavu taveniny či viskózního toku a zchlazením umožnit ztuhnout při teplotách, jenž jsou typické pro určitý druh termoplastu. Tato schopnost je i podstatou recyklačních technologií termoplastů.



Zdroj: PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu

Obr. 2 Základ termoplastů a jejich zpracování

Reaktoplasty prodělávají během zpracovatelského procesu reakci a účinek tepla, záření či síťovacího činidla formují husté, prostorově sesíťované uspořádání, v němž jsou prvotní molekuly vzájemně pospojovány kovalentními vazbami. Tento postup je označován jako vytvrzování. Reaktoplasty jsou ve vytvrzeném skupenství netavitelné a nerozpustné. Recyklace reaktoplastů je z tohoto důvodu komplikovanější a potřebuje odlišné metody (Ptáček, 1999) (Brydson, 1999).



Zdroj: PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu

Obr. 3 Základ reaktoplastů a jejich zpracování

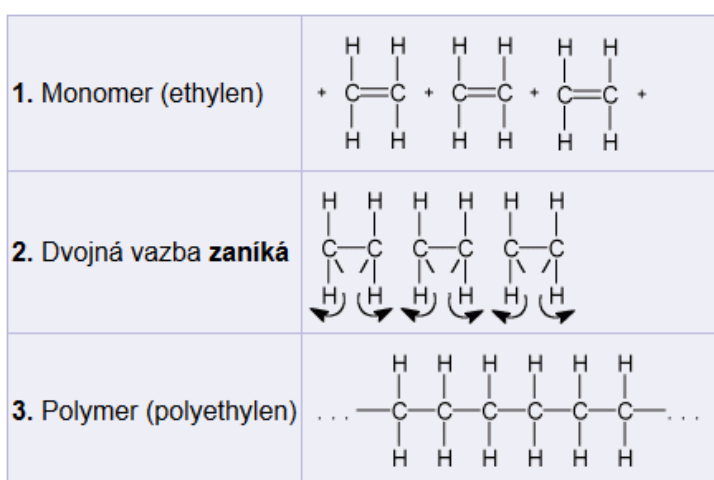
1.2 Vlastnosti plastů

Polyreakce je prostá chemická reakce, která se mnohokrát opakuje a vytváří makromolekulární látku (monomer => polymer) (Bradáč, 2016).

Základní látkou je monomer, výsledkem polyreakce je polymer. Polyreagovat může pouze sloučenina, jenž má nejméně jednu dvojnou vazbu, např. ethylen, propylen atd (Xantina, 2005).

Příklad:

Monomer - ethylen (C_2H_4) polyreakcí vzniká polymer - polyetylen ($-CH_2-CH_2-$) mající rozdílné vlastnosti).



Zdroj: <https://xantina.hyperlink.cz/organika/polymerace.html>

Obr. 4 Grafické znázornění polyreakce ethylenu

Základní typy polyreakcí:

- Polymerace
- Polykondenzace
- Polyadice (Bradáč, 2016)

1.2.1 Polymerace

Polymerace – je chemická reakce, během které se molekuly jednoduché organické sloučeniny sdružují a vytvářejí makromolekuly bez vedlejších produktů (Xantina, 2005).

Výsledkem polymerace je makromolekulární řetězec, jenž se zvětšuje do své finální délky ve velice krátké době, tudíž v každé fázi polymerace jsou v reakční hmotě blízko sebe nezreagované molekuly monomeru a makromolekuly polymeru ve svém finálním rozměru.

Rychlost polymerace a velikost rodících se makromolekul je stanovena rychlostmi samostatných parciálních dějů, ze kterých je proces polymerace složen (Ducháček, 2006).

Tři etapy polymerace:

- 1) Iniclace - zahájení, vznikají radikály, dochází k rozdělení dvojné vazby použitím tepla nebo světla)
- 2) Propagace - zvětšování řetězce, radikálové reagují s dalšími monomery (exotermický děj)
- 3) Terminace - zakončení reakce (vytvoření polymeru) (Bradáč, 2016; Pavlík, nedatováno)

Dle charakteru aktivních částic je možné polymeraci rozdělit na:

- **Radikálovou** – je způsobena účinkem iniciátoru (chemická energie), tepla (tepelná energie), nebo záření čili radiace (energie záření neboli radiační). Jako iniciátor je látka, jenž polymerační reakci aktivuje, se využívá organický i anorganický peroxid nebo azosloučenina.
- **Iontovou** – během ní rostoucí konce či aktivní centra rodící se makromolekuly formují polarizovaná seskupení, mezi která je absorbována molekula monomeru. Je-li atom uhlíku absorbovaný aktivní vazbou kladně polarizovaný, jedná se o **kationtovou polymeraci**. U **aniontové polymeraci** je atom uhlíku polarizován záporně (Ducháček, 2006).
- **Koordinační** – během vznikání prostorově souměrně srovnaných makromolekulárních řetězců se monomer začleňuje mezi jejich rostoucí konce a katalyzátor dle striktního geometrického uspořádání, koordinovaně. Taková polymerace je nazývána **koordinační** či **stereo specifickou**, nebo stručně **polyinzerce** (Ducháček, 2006).

1.2.2 Polykondenzace

Polykondenzace je reakce během, které reagují dva shodné či odlišné monomery, jenž obsahují dvě a více reakčních funkčních skupin. Během reakce nevzniká pouze polymer, nýbrž i nízkomolekulární produkt (kupříkladu voda, methanol, amoniak). Tato reakce byla pro výrobu poprvé využita v roce 1909, kdy byl kondenzací fenolu s formaldehydem vyprodukován polymer, dnes známý pod jménem Bakelit (Prokopová, 2007).

Důležitými produkty polykondenzačních reakcí jsou polyamidy či polyestery. Jedním z nejdůležitějších polyesterů je polyethyltereftalát. Tento polymer je vyroben kondenzací dimethyltereftalátu s ethylenglykolem. Methanol je nízkomolekulárním produktem této reakce. V ČR je znám pod obchodním názvem Tesil či terylén (Prokopová, 2007).

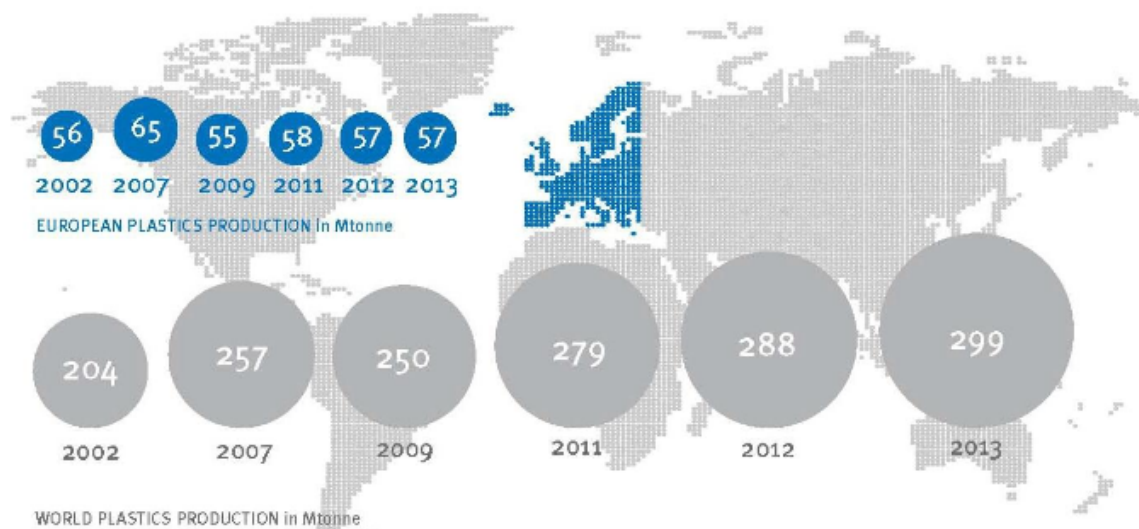
Mezi nejznámější polyamidy náleží Nylon 66. Číslo 66 označuje, že oba monomery mají ve svém řetězci šest atomů uhlíku. Nylon 66 se vyrábí kondenzací kyseliny adipové s hexamethyldiaminem. Vedlejším produktem této reakce je voda (chemie.g6.cz, 2015).

1.2.3 Polyadice

Sloučeniny, jejichž molekuly disponují násobnými vazbami, či jsou formovány kruhy s malým množstvím členů, mohou být kromě recipročního řetězení schopny adiční reakce se sloučeninami, jejichž molekuly disponují vhodnými funkčními vazbami. Disponují-li tyto sloučeniny ve svých molekulách nejméně dvěma funkčními skupinami, může mnohonásobná adice vytvořit polymer. Oproti polymeraci nabízí polyadice strukturu výchozího článku produktu rozdílnou od struktury základní látky (Ducháček, 2006).

2 Odpady z plastů

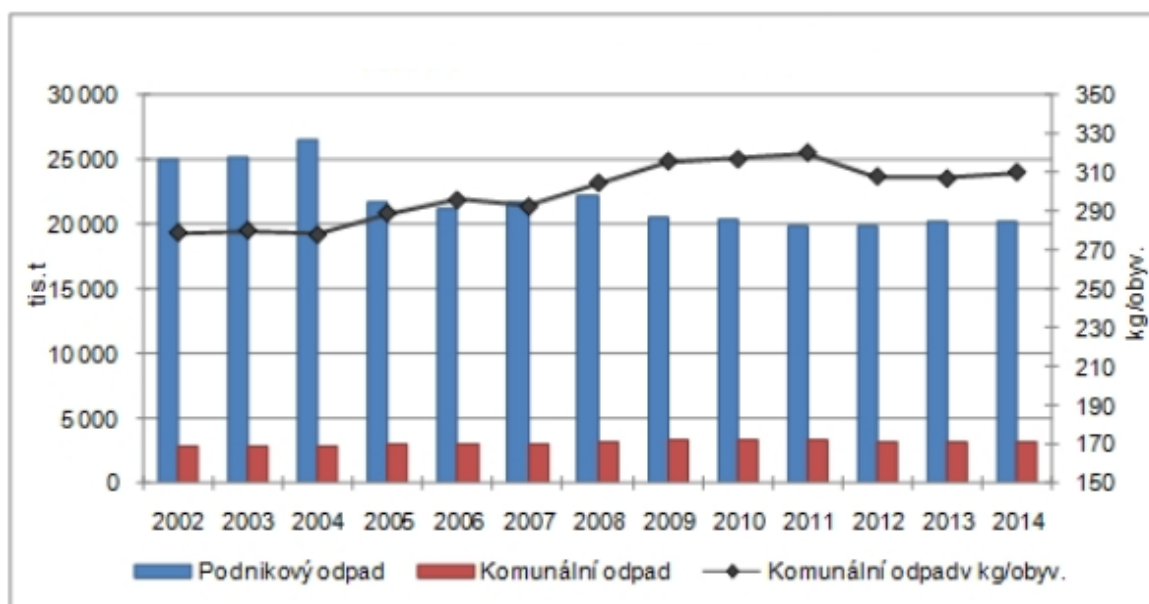
Dynamický rozmach výroby polymerů v minulém století podstatným způsobem nasměroval technickou evoluci lidské společnosti. S jejich plynule rostoucí spotřebou se ale už v 70. letech 20. století započalo neustále jasněji ukazovat, že především u produktů s krátkodobou životností je rezistence polymerů k externímu prostředí, vyzdvihovaná během aplikace, nevýhodná v momentě, kdy produkt doslouží a je z něj odpad. Zásadou svých vlastností, především mechanických a bariérových, rezistenci vůči vodě a mikroorganismům, eventuálně i průhlednosti, se staly neodmyslitelnou složkou moderního života.



Zdroj: <http://www.plasticseurope.org/>

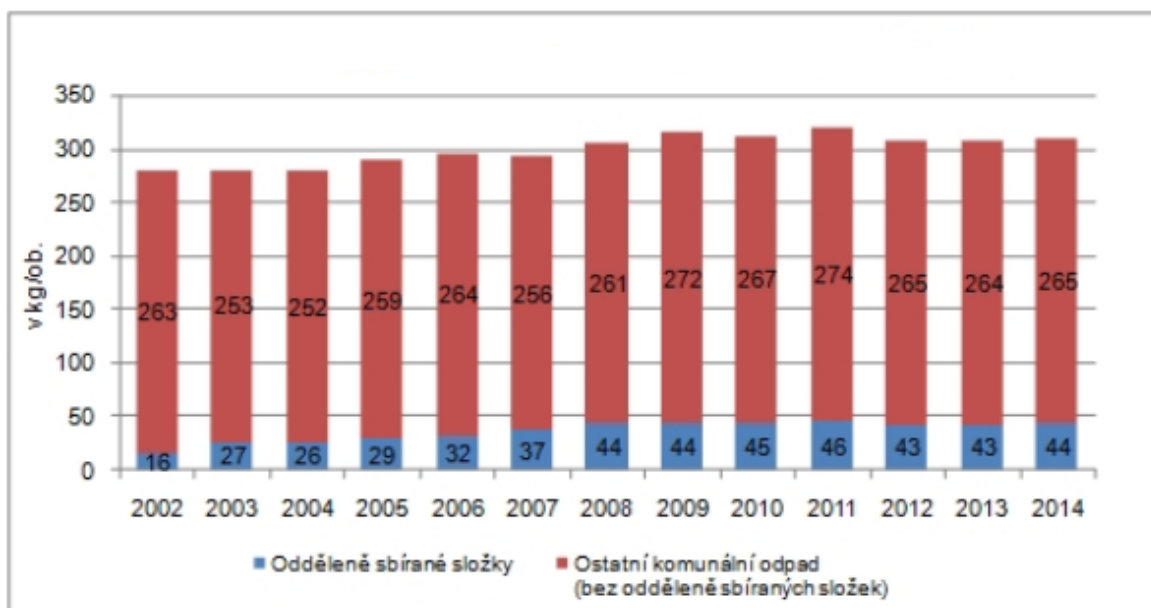
Obr. 5 Světová spotřeba plastů [v milionech tun]

Majorita polymerního odpadu v ČR, především obalového, končí na skládkách, kde přežívá desetiletí bez zásadních změn.



Zdroj: <http://www.tretiruka.cz/news/statistika-csu-produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-a-produkce-druhotnych-surovin-v-roce-2014/>

Obr. 6 Produkce odpadů v ČR 2002-2014



Zdroj: <http://www.tretiruka.cz/news/statistika-csu-produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-a-produkce-druhotnych-surovin-v-roce-2014/>

Obr. 7 Produkce komunálních odpadů v ČR 2002-2014

Pro každou technicky rozvinutou zemi je nutností předcházet vzniku budoucích nežádoucích dopadů ekonomické evoluce na její ekologický vývoj. Do této sféry patří i problematika zacházení s odpady (Ducháček, 2006).

2.1 Vznik odpadů a zacházení s nimi

Odpad v zásadě může vznikat už během výroby či až po využití výrobku. Polymerní odpady dle jejich možnosti zpracování lze buď zhodnotit, či je nutné zlikvidovat.

Z ekologického pohledu je nejvýhodnější způsob zacházení s odpady jejich recyklace čili recyklování, tedy proces, během něhož jsou využité a vyřazené výrobky, jenž by jinak byly zahrnuty do tuhého odpadu, shromažďovány, tříděny, zpracovávány a surovina z nich vyrobená vrácena zpět k užívání.

Recyklaci dnes dělíme dle několika aspektů na:

- **Primární** – proces, během něhož se z polymerního odpadu získá surovina nebo výrobek, jenž má shodné či obdobné atributy jako materiál nebo výrobek prvotní.
- **Sekundární** – proces, během kterého se z polymerního odpadu získá surovina nebo výrobek, jehož atributy jsou natě rozdílné od materiálu nebo výrobku prvotního.

Recyklace dle povahy recyklačního procesu lze rozlišit na:

- **Fyzikální** – z odpadu se získá nový materiál či složky nového materiálu aniž by proběhly chemické reakce.
- **Chemická** – chemický rozklad druhově tříděného polymerního odpadu na nízkomolekulární sloučeniny, mnohdy i monomery, z kterých se chemickými procesy vyprodukuje nový materiál (Ducháček, 2006).

2.1.1 Skládky

Relativně snadný a na první pohled nejméně nákladný způsob nakládání s odpady, kterých se v současné době v ČR na skládky odváží neustále nadpoloviční většina. Polymery, stejně jako sklo a porcelán během dlouhé doby nepodléhají zásadním oxidačním a biologickým transformacím jako odlišné materiály včetně kovů a oslabují tak proces přírodní homogenizace nové skládkové krajiny. Z tohoto důvodu vyspělé země skládkování neustále více redukuje a upřednostňují rozumné a ekonomicky únosné zhodnocování polymerního odpadu. Reálně se potvrzuje užívat skládky pouze k likvidaci takového odpadu, jenž není možné žádnou metodou zhodnotit (Ducháček, 2006).

2.1.2 Pyrolytický rozklad

Nejvyspělejší forma chemické recyklace odpadních polymerních materiálů. Její výhodou je technologické a chemicko-inženýrské řešení a zásadní ekonomický dopad. Nabízí využitelné produkty (kupříkladu paliva, rozpouštědla) a byla testována pro pryže a plasty.

Aplikovanou verzí pyrolytického rozkladu polymerních odpadů prezentuje redukční pyrolýza. Proces je vybudován na soudobém účinku oxidu uhelnatého, tepla a vody. Polymerní odpady jsou přetvářeny na velmi ušlechtilá paliva (Ducháček, 2006), (Lee, 2006).

2.1.3 Hydrolytický rozklad

Vzácné produkty je možné vyprodukovat též hydrolytickým rozkladem polymerních odpadních látek za účasti kyselých či bazických urychlovačů. Hydrolýzou či alkoholýzou je možné kupříkladu z polyamidů vyprodukovat opět polymerizovaný monomer (Ducháček, 2006).

2.1.4 Oxidační rozklad

Je řetězová reakce volných radikálů během teploty okolí či navýšené teplotě (autooxidaci), při které jsou nejprve vyprodukovány peroxidické sloučeniny, jež se v následné etapě štěpí na mix kyslíkatých produktů.

Spalování je zvláštní příklad oxidačního rozkladu, při kterém jsou nejprve vyprodukovány těkající organické produkty, jež v plynné etapě oxidují. Tato forma recyklace polymerního odpadu je lehce proveditelná a celkem běžná, zejména proto, že všechny polymerní materiál je v zásadě lehce spalitelný (při teplotě kolem 900 °C). Je doložitelná i ekonomicky, při využití tepla pro výrobu páry či elektrické energie. Jelikož může být podíl exhalací agresivní, shodně jako u spalování severočeského hnědého uhlí, jež disponuje velkým procentem síry, je nutné spaliny před uvolněním do ovzduší pečlivě filtrovat (Ducháček, 2006).

2.1.5 Biologický rozklad polymerů

Souběžně s vývojem fyzikální a chemické recyklace se jako alternativní řešení otázky „kam s ním?“ rozvíjí úsilí využít ve velkém rozsahu biologicky rozložitelné materiály, především obalové za účelem energetického zhodnocení.

V příhodném prostředí, kupříkladu v kompostu, v kalech z čistíren odpadních vod či v mořské vodě se mohou určité polymery působením mikroorganismů rozpadnout na vodu a oxid uhličitý, eventuálně amoniak, je-li v polymeru obsažen dusík.

Během bio rozkladu polymeru za neúčasti kyslíku jsou finálními produkty degradace voda a methan.

Způsobnost polymerů podlévat se biologické degradaci nezávisí na jejich původu, tudíž na tom, zda jsou získány v přírodě, či v chemickém reaktoru, ale na jejich chemické struktuře, jež vytváří dispozice možného hydrolytického či oxidačního štěpení makromolekul (Ducháček, 2006).

2.1.6 Ekonomická a ekologická hlediska likvidace a recyklace odpadů

Při hodnocení této otázky není možné přirozeně opomenout ekonomická měřítka:

- Ceny substituovaných původních surovin,
- Vliv možných dotací,
- Srovnání spotřeby energií během zpracování druhotných a původních surovin,
- Působení zpracování druhotných surovin na opotřebení strojního zařízení, eventuálně na nárůst nákladů na jeho servis,
- Nutnost pracovních sil z pohledu řetězové kalkulace toku materiálů od původních surovin skrz výrobu, odpady, jejich sběr, třídění, uskladnění a expedici k druhotným surovinám,
- Působení druhotných surovin na možnou redukci či nárůst dopravních nákladů,
- Eliminace nákladů na likvidaci odpadů během jejich opakovaného zhodnocení,
- Problematika produkce sekundárního odpadu.

Ekonomicko-ekologické faktory mající vliv na řešení otázky odpadů v průmyslově rozvinutých zemích je možné rozčlenit do tří kategorií:

- I. Snížení nežádoucích ekologických vlivů skládek odpadů:
 - Osobní vlastnictví půdy, jenž fakticky eliminuje eventualitu vzniku černých skládek,
 - Velkými poplatky na spravovaných skládkách
 - Striktními nařízeními k výběru lokalit pro skládky a jejich činnost (a k tomu se vztahující značné investiční náklady na založení a chod).
- II. Potenciály praktického zpracování (recyklování) odpadů:
 - Škála celé řady drobnějších firem věnujících se výkupu a zpracování odpadů dovoluje užívat lokální druhotné suroviny a podněcovat ke spotřebě produktů z nich v přílehlém okolí jejich produkce,
 - Tyto malé podniky jsou mnohdy vybaveny vyřazeným, avšak ještě funkčním strojním zařízením od velkých firem.

III. Vládní subvence zpracovatelům odpadů:

- Přídělem z fondů na ochranu životního prostředí,
- Úvěrovou politikou,
- Zvýhodněním druhotných surovin formou celních úlev.

Tyto okolnosti mohou být v určitých situacích zásadní pro formu odstraňování a především zhodnocování odpadu, což je bezpochyby účelnější než velké a stálé decimování životního prostředí (Ducháček, 2006).

3 Pyrolýza

Slovo pyrolýza má původ z řeckých slov pýr = oheň a lysis = rozpustit.

Pyrolýza = fyzikálně-chemické dění termického procesu.

Termický průběh jsou technologie, jenž teplotně působí na hmotu a narušují tak její chemickou stálost. Teplotní účinek se pohybuje v rozsahu 300 – 2000 °C, chemický charakter odehrávajících se procesů se nebere v úvahu.

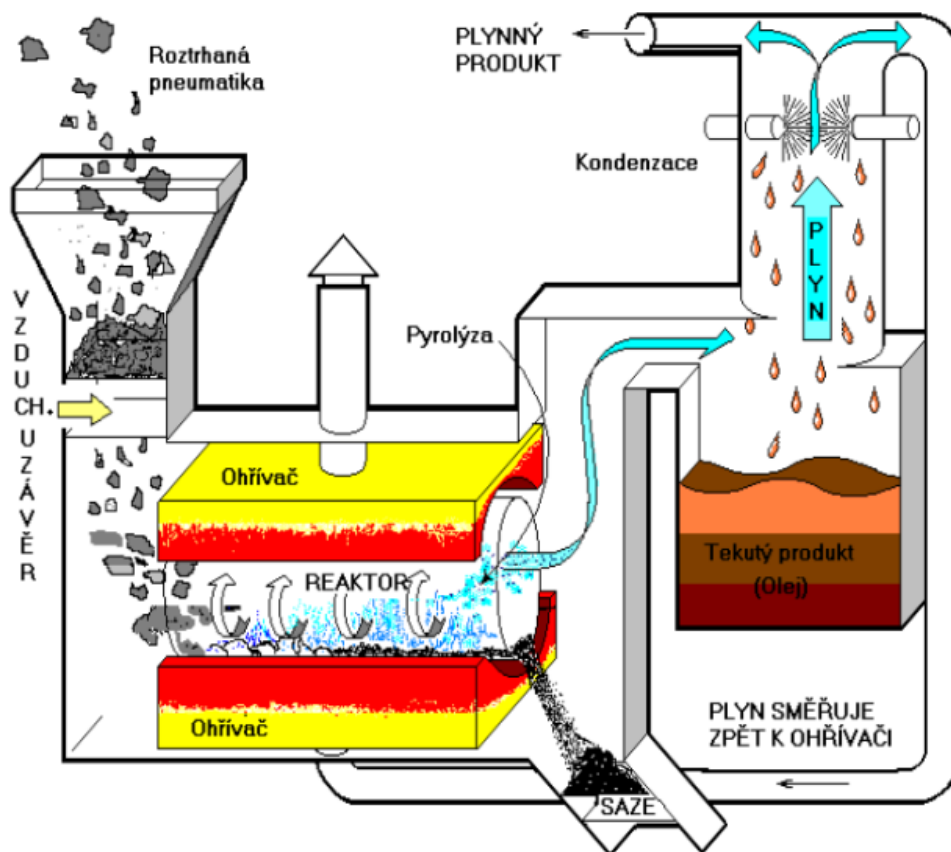
Termické procesy je možné rozdělit do dvou skupin:

- I. Oxidativní proces – v reakčním prostředí je obsah kyslíku stechiometrický či vyšší vůči zpracovávanému materiálu (spalování při nízkých a vysokých teplotách),
- II. Reduktivní proces – v reakčním prostředí je obsah kyslíku nulový či substechiometrický (pyrolýza a zplyňování).

Principem pyrolýzy je termická destrukce organického materiálu bez přístupu kyslíku. Podstatou je ohřívání materiálu nad hranici termické stálosti organických sloučenin vedoucí k štěpení až na stálý nízkomolekulární produkt a tuhé reziduum.

Pyrolýzní procesy z technologického aspektu je možné dělit dle dosahované teploty na:

- a) Nízkoteplotní do 500 °C
- b) Středněteplotní v rozsahu 500 – 800 °C
- c) Vysokoteplotní na 800 °C



Zdroj: <http://docplayer.cz/10802764-Katedra-netkanych-textilii-fakulta-textilni-technicka-univerzita-v-liberci-jakub-hruza-7-drceni-a-mleti-polymerniho-odpadu.html>

Obr. 8 Grafické schéma pyrolýzy

V návaznosti na dosaženou teplotu je možné při pyrolytickém procesu sledovat soubor dějů, jenž lze diferencovat do 3 teplotních intervalů:

1. $< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ – sušení a tvorba vodní páry (procesy silně endotermické),
2. $200 - 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ – suchá destilace. Transformace makromolekulárních struktur na plynný a kapalný organický produkt a pevný uhlík.
3. $500 - 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ produkty vytvořené suchou destilací jsou následně štěpeny a přeměňovány. Z pevného uhlíku i z kapalné organické látky se produkují stabilní plyny (H_2 , CO , CO_2 , CH_4).

Produkty z pyrolýzní jednotky (%)			
	syntetický odpad	pneumatiky	komunální odpad
LTO	75	50	25
plyn	22	25	16
koks	3	25	25
voda	0	0	32

Zdroj: http://www.pyrolun.com/?page_id=11

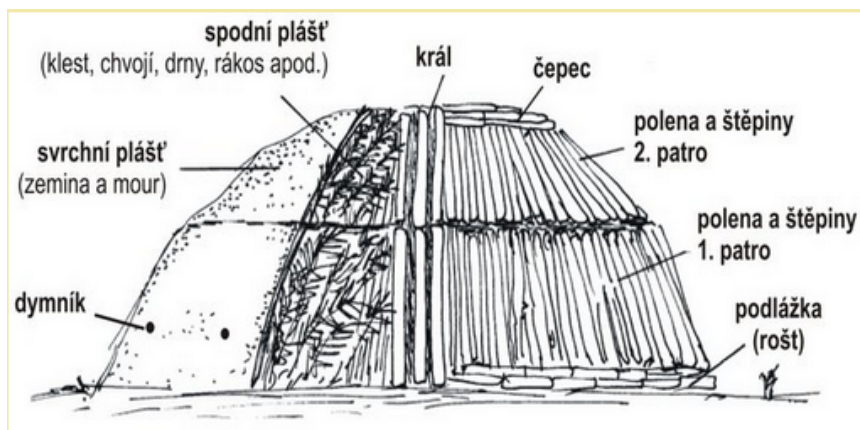
Tabulka č.1: Produkty pyrolýzního procesu při zpracování různého druhu odpadu

V současné době majoritní část provozovaných pyrolýz využívá termickou destrukci odpadu v rotační peci, jež je vytápěná prostřednictvím spalování pyrolýzních plynů v termoreaktoru. Pyrolýzní jednotky jsou příhodné pro likvidaci odpadů, jež nedisponují příliš velkým obsahem škodlivin a nedisponují dispozicemi ke spékání. Zbytek energie ze spálení plynu, jež se nevypotřebuje na ohřev vsunutých odpadů, se dále užívá. Modernější pojetí předpokládá použití pyrolýzního plynu coby chemické suroviny či jakožto plynu v kogeneračních jednotkách (Horák, nedatováno).

3.1 Dějiny pyrolýzy

Aniž bychom si to uvědomovali, tradičním příkladem pyrolýzy je výroba dřevěného uhlí v milíři, kde je dosahováno teploty 350 °C a výše (Pavlík, nedatováno).

Tato technologie je známá přes tisíc let. Princip je založen na pokrytí dřeva či vhodné biomasy zeminou. Ponechává se pouze malý vstup pro vzduch a průduch k vypouštění kouře. Hmota je nakupena na hromadu či do jámy. V momentě, kdy je takto nachystána, proces je zahájen spálením podílu hmoty, čímž se uvnitř utvoří teplo. U základny se zhotoví šest až deset vzduchových přívodů a na vrcholku otvor o průměru 20 cm pro odvod vzduchu během rozhořívání. Po uběhnutí nějakého času se průduchy neprodyšně utěsní hlínou. Za podpory vnitřního tepla a nedostatku kyslíku je zahájen proces pyrolýzy a započne vznikat dřevěné uhlí (Horák, nedatováno).



Zdroj: <http://www.koliba-os.cz/news/30/59/Paleni-milire-2011.html>

Obr. 10 Pálení dřevěného uhlí v milíři

Roku 1832 je objeven proces nízkoteplotní karbonizace, v dnešní době nazýván jako pyrolýzní proces, jenž byl určen k produkci dehtů a parafinů.

Velkého návratu a rozmachu se tento proces domohl výrobou olejů z uhlí v období mezi první a druhou světovou válkou, kdy Německo muselo zabezpečovat potřeby pohonných hmot vlastní produkcí.

V letech 1927 – 1942 v Záluží u Mostu byl vyprojektován velký závod, kde mělo stát dohromady 80 pyrolýzních pecí, 16 hydrogenačních linek, výroba vodíku, destilační jednotky, elektrárna a teplárna.



Zdroj: <http://litvinov.sator.eu/kategorie/zanikle-obce/zaluzi/chemicka-v-zaluzi>

Obr. 11 Chemička v Záluží

V období 1945 – 1972 bylo v chemickém závodu Záluží zpracováno zhruba 100 milionů tun severočeského hnědého uhlí, jenž bylo určeno k produkci dehtů nebo olejů, používané

jako primární surovina k produkci motorových paliv hydrogenačními procesy. Výroba fenolů, kresolů a xylenů; tlakovou destilací produkce ethanu; tuhý zbytek = náhražka koksu, produkce vodíku (Pavlík, nedatováno).

3.2 Technologie pyrolýzy

3.2.1 Rychlá a pomalá pyrolýza

➤ Pomalá pyrolýza

Známa též jako karbonizace se využívá zejména pro produkci dřevěného uhlí (Horák, nedatováno).

Během pomalé pyrolýzy je dosahováno rychlosti zahřívání kolem 5 – 7 °C/minuta. Vstupní surovina se převážně ohřívá na teplotu cca 500 °C a v reaktoru pobývá okolo půl hodiny. Lze využívat větší části materiálu, eventuálně heterogenní vsázku vlivem delšího času zahřívání. Produkt pomalé pyrolýzy disponuje zhruba shodným zastoupením všech tří fází, eventuálně převládajícím zastoupením pyrolýzního koksu. Používá se v situacích, kdy je nezbytné vyzískat více pyrolýzního uhlí, kupříkladu ve vzdálenějších lokalitách.

Je používáno především válcových rotačních pecí, reaktory jsou s pevným ložením (opzp, 2010).

➤ Rychlá pyrolýza

Nejnovější proces, při kterém se biomase přeměňuje na produkty vyšší energetické úrovně – plyny, kapaliny a tuhé látky.

Základním energetickým výtěžkem je kapalina – bioolej, jenž je možné lehce uskladňovat a transportovat.

Správný postup pyrolýzního procesu stanovuje extrémně rychlý přívod tepla do suroviny, udržování požadované teploty, krátký čas pobytu páry v reakční oblasti a rychlost ochlazení vytěženého produktu (Horák, nedatováno).

Během rychlé pyrolýzy je dosahováno rychlosti zahřívání vsázky mezi 500 – 1 000 °C/minuta. Vlivem rychlého zahřívání je třeba materiál zpracovat na malé části, řádově několik milimetrů.

Pro rychlou pyrolýzu jsou používány fluidní reaktory disponující s cirkulující či stálou vrstvou, rotační kuželové reaktory (opzp, 2010).

3.2.2 Technologie zpracování uhlí

➤ Technologie Lurgi

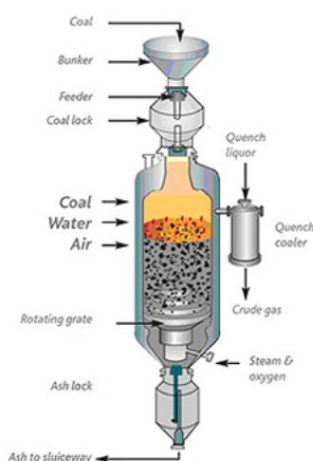
Tento postup byl využit z vyzískávání dehtu a karbonizačního benzínu z hnědého uhlí v době 2. světové války v Německu a též v Záluží u Litvínova.

Podstatou technologie Lurgi je dvoustupňová reakce:

1. Stupeň – sušení uhlí a současné jeho předehřívání na teplotu zhruba 200 °C v sušících komorách opatřených sesuvným fixním ložem prostřednictvím proudu spalín.
2. Stupeň – vysušené předehřáté uhlí je zahříváno horkým karbonizačním plynem na teplotu dosahující téměř 600 °C. Odváděné nestálé produkty jsou ochlazovány a je z nich separován těžký a lehký dehet, pyrolýzní olej, karbonizační voda a benzín (propíráním pracím olejem).

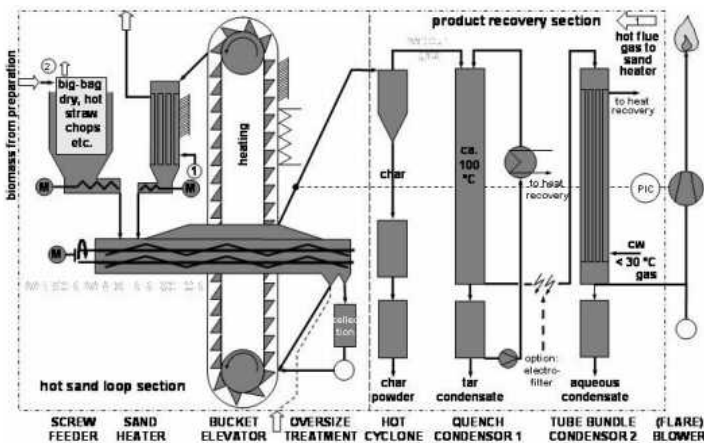
➤ Technologie Lurgi-Ruhrgas

Tento proces je pozměněná technologie Lurgi. K přenosu tepla je používán horký koks, jenž se v mechanickém mísiči mísí s jemně semletým uhlím. Teplota pyrolýzy fluktuuje v rozsahu 450 – 600 °C. Pyrolýzní plyn jde skrze cyklon, kde se separuje stržený koksový a uhelný prach, a následně je ochlazen, aby z něj kondenzací získala voda a dehet. Dehet je vysokotlakou hydrogenací transformován na syntetickou ropu, jenž se následujícím hydrokrakováním upravuje na kapalná paliva.



Zdroj: <https://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/lurgi>

Obr. 12 Technologie Lurgi



Zdroj: <http://www.ikft.kit.edu/english/181.php>

Obr. 13 Technologie Lurgi-Ruhrgas

➤ Technologie COED (Char Oil Energy Development)

Vysušené a nadrobno namleté uhlí projde pyrolyzačním procesem ve čtyřstupňové fluidní soustavě (300 - 350 °C, 450 °C, 540 °C a 870 °C). Čtvrtý reaktor je určen pro spalování polokoksu a uvolněné teplo je použito k ohřevu třetího a druhého reaktoru. Čas setrvání v jednotlivých reaktorech je závislý na druhu uhlí a procesních podmínkách. Dehet z ochlazeného pyrolýzního plyn je na filtru zbaven tuhých částic a na katalyzátoru hydrogenován na syntetickou ropu. Zbylý pyrolýzní plyn je propírán NH_3 a H_2S a část je používána jako topný plyn a část se využívá k produkci vodíku pro hydrogenaci dehtu (Jílková, 2012), (Uemichi, 1999).

3.2.3 Technologie zpracování biomasy

➤ Technologie BTG (Biomass Technology Group)

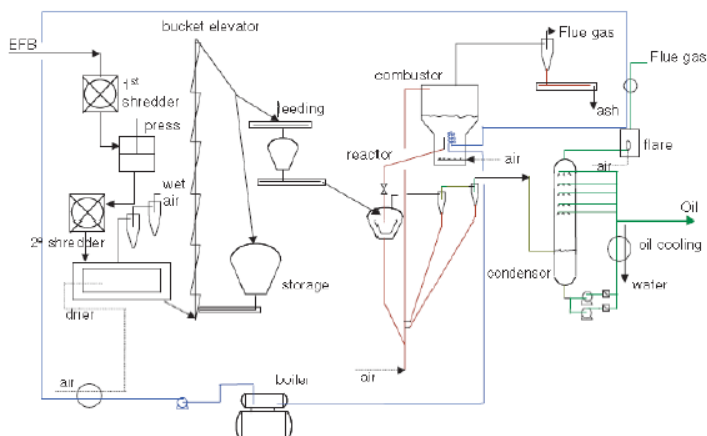
Technologie je vytvářena holandskou firmou Biomass Technology Group.

Pyrolýza, provozovaná se záměrem vyzískávání maximálního množství bio-oleje, se odehrává v rotujícím kuželovém reaktoru, ve kterém je biomasa promíchávána s pískem, jenž je teplosměnným médiem. Surovinami určené pro pyrolýzu mohou být rozmanité typy biomasy: dřevo, sláma, energetické plodiny, drůbeží trus apod.

Množství a kvalita výrobků je závislá na typu suroviny.

Dvě zkušební jednotky jsou provozovány v Nizozemí a jedna komerční jednotka byla spuštěna v Malajsii; tato jednotka je současně prvním na světě, coby průmyslové zařízení pro rychlou pyrolýzu biomasy.

Surovinami pro jednotku v Malajsii jsou vlákna z kokosových ořechů a vysušené slupky. Výnos pyrolýzního oleje dosahuje 50 – 60 % a je využíván jako topný olej v energetickém kotli. Reaktor je ohříván spalováním tuhého pyrolýzního rezidua. Pára je vyráběna z uvolněného tepla při spalování pyrolýzního plynu.

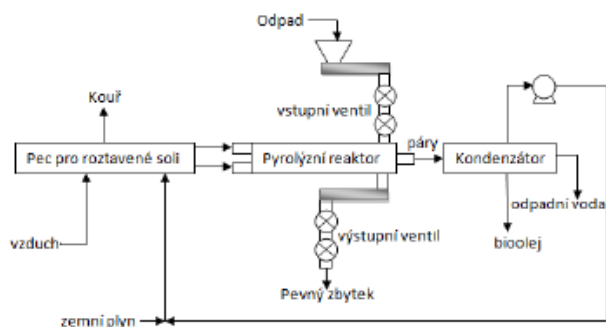


Zdroj: [http:// paliva.vscht.cz/download.php?id=76](http://paliva.vscht.cz/download.php?id=76)

Obr. 14 Schéma procesu pyrolýzy BTG realizovaného v Malajsii

➤ Technologie Pyrovac

Technologii pyrolýzy v posuvném loži za vakua vyvinula firma Pyrovac v Kanadě, kde je též postavena i zkušební jednotka, jenž využívá jako vstupní surovinu dřevní kůru. Jednotka představuje kombinaci pomalé a rychlé pyrolýzy. Biomasa je pozvolna zahřívána na žádanou teplotu teplem z taveniny solí (pomalá pyrolýza) a produkty jsou za podpory vakua ihned odváděny z prostoru reaktoru (rychlá pyrolýza). Teplo pro zahřívání taveniny solí je vyzískáváno ze spalování pyrolýzního plynu (Bhattacharya, et al., 1999).



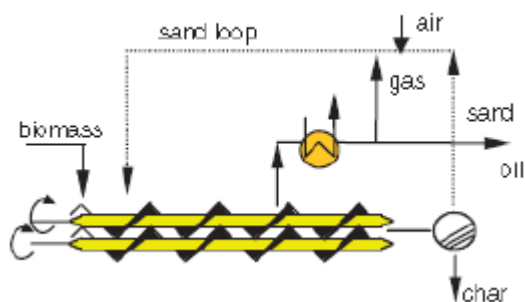
Zdroj: [http:// paliva.vscht.cz/download.php?id=76](http://paliva.vscht.cz/download.php?id=76)

Obr. 15 Schéma procesu pyrolýzy Pyrovac v Kanadě

➤ Technologie Bioliq

Technologii vyvinuli v Německu a zkušební zařízení na zpracování slámy postavili v Karlsruhe. V americké Iowě postavili komerční jednotku, jejíž vstupní surovinou jsou zemědělské zbytky.

Pyrolýza se odehrává v reaktoru s dvojitým šnekem (převzato z technologie Lurgi), kde se biomasa promíchává s pískem či ocelovými kuličkami. Teplosměnný materiál je zahříváno teplem, jenž je získáváno spalováním pyrolýzního plynu. Základním produktem je slurry – kapalný podíl s příměsí nadrobno namletého polokoksu. Slurry je poté zplynováním přeměněn na syntézní plyn.



Zdroj: [http:// paliva.vscht.cz/download.php?id=76](http://paliva.vscht.cz/download.php?id=76)

Obr. 16 Schéma reaktoru pyrolýzní jednotky Bioliq

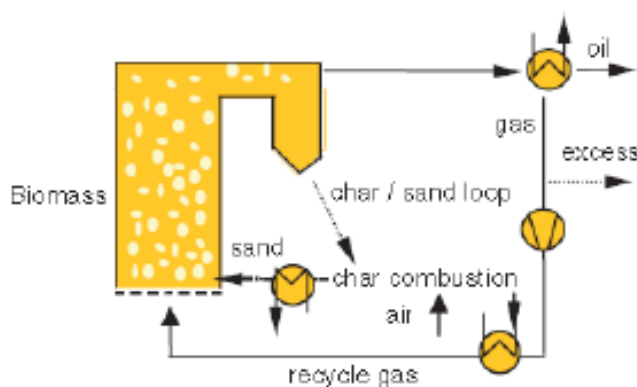
➤ Technologie RTP (Rapid Thermal Processing)

Pyrolýza probíhá ve fluidním loži s cirkulující vrstvou. V kanadské Ottavě postavila firma Ensyn Technologies jednotku se záměrem vyrábět kapalný výtěžek jako primární surovinu pro chemikálie a paliva.

Menší obdobné jednotky byly postaveny v Kanadě a ve Finsku (Metso).

Písek vytváří cirkulující lože, jenž má funkci dobrého teplosměnného média. Písek s polokoksem je přiváděn do spalovací komory, kde dochází ke spálení koksu a horký písek se navrácí zpět do reaktoru. Výtěžky finálních kapalných produktů dosahují téměř 70 %.

Nevýhodou je velké množství cirkulujícího plynu, jenž je třeba čistit. Další potíží je eroze zařízení.



Zdroj: [http:// paliva.vscht.cz/download.php?id=76](http://paliva.vscht.cz/download.php?id=76)

Obr. 17 Schéma pyrolýzního procesu RTP

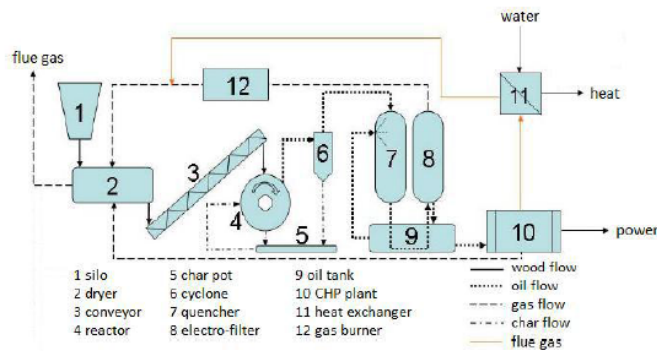
➤ Technologie BTO (Biomass-to-Oil)

Technologie využívá ablativní pyrolýzu, tzn. teplo je přenášeno skrze pevnou přepážku, zde je použit rotující ocelový kotouč.

Proces byl vytvořen v Německu a jednotku postavila firma Pytec, vstupní surovinou je dřevní odpad.

Surovina je rychle ohřívána na teplotu 500 °C. Bioolej kondenzuje prostřednictvím rozprašovací kolony a elektrostatického filtru.

Výtěžek biooleje dosahuje mezi 60 – 75 %. Teplo vytvořené spalováním pyrolýzního plynu je využito k vysušování suroviny. Tuhý zbytek se spaluje se záměrem ohřát pyrolýzní reaktor. Bioolej plní funkci paliva kogenerační jednotky (Jílková, 2012).



Zdroj: [http:// paliva.vscht.cz/download.php?id=76](http://paliva.vscht.cz/download.php?id=76)

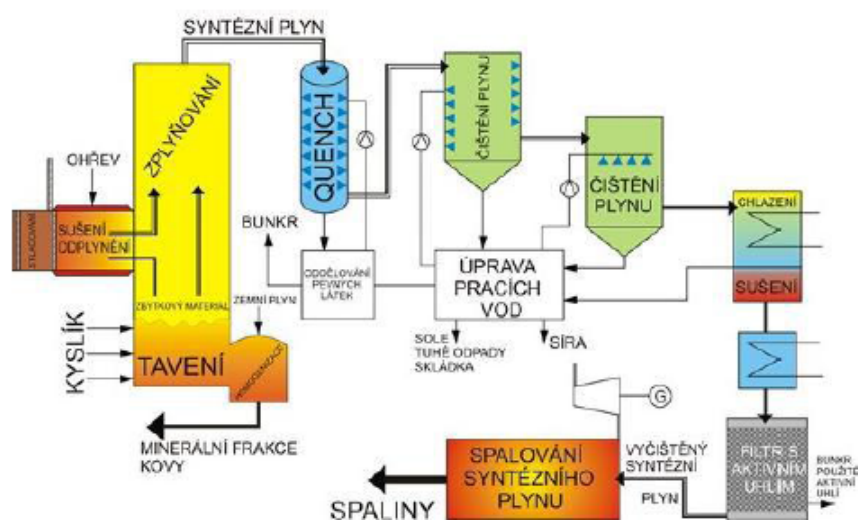
Obr. 18 Schéma pyrolýzního procesu BTO

3.2.4 Technologie ke zpracování odpadů

➤ Technologie Thermoselect

Jednotku pyrolýzního procesu ke zpracování pevného komunálního odpadu postavila v německém Karlsruhe firma Thermoselect. Dalších obdobných 6 jednotek je provozováno v Japonsku.

Tuhý komunální odpad je zprvu stlačen, odplyněn a za kontrolovaného přidávání kyslíku při teplotách až 2 000 °C zplyněn. Vyzískaný plyn se používá k produkci elektrické energie prostřednictvím parní turbíny. Japonsko testuje možnosti využití vyprodukovaného plynu v palivových článcích.



Zdroj: [http:// paliva.vscht.cz/download.php?id=76](http://paliva.vscht.cz/download.php?id=76)

Obr. 19 Schéma pyrolýzního procesu jednotky Thermoselect

➤ Technologie Babcock

Technologie je vyprojektována ke zpracování pevného komunálního odpadu, kalů z čistíren a obdobných typů odpadů. V provozu jsou jedna pilotní a tři komerční jednotky.

Pyrolýzní proces se odehrává ve válcovém reaktoru, jenž je nepřímě otápěn. Reaktor je zahříván spalinami ze spalování pyrolýzního plynu, přebytečné teplo využívá kotel na odpadní teplo. Čištění spalin probíhá za pomoci suché vápencové metody, kdy je vápno jako příměs přidáváno bezprostředně do odpadu a z části do spalin před filtrem z tkaniny.

➤ Technologie RCP

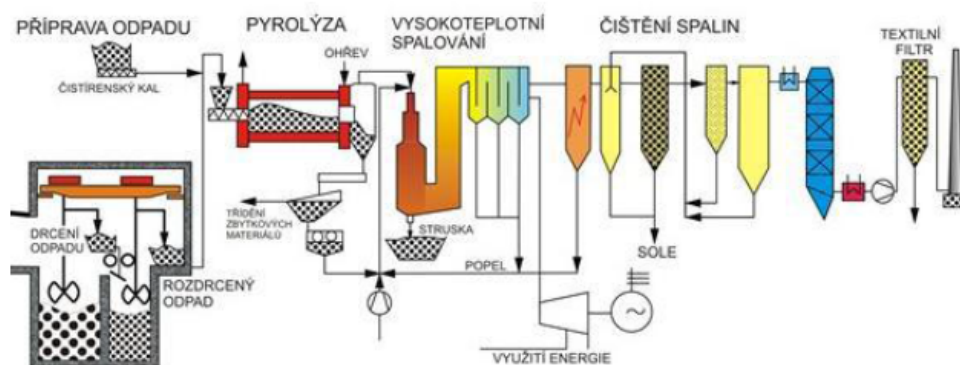
V Bremerhavenu postavili jednotku využívající proces rychlé pyrolýzy pro zpracování pevného komunálního odpadu. Čas setrvání odpadu v peci je závislý na jeho složení a je regulován roštem typu Von Roll.

Anorganické části se mění při teplotě kolem 1400 °C na strusku, jež se následně zpracovává v granulární lázni a potom se využívá jako příměs do portlandských cementů. Spaliny jsou ochlazovány na 1000 °C ve fluidní komoře, následně jsou zbavovány prachu v odlučovači, prostřednictvím suché vápencové metody odsířeny, selektivní nekatalytickou redukcí denitrifikovány a v kyselých pračkách jsou z nich odstraněny těžké kovy.

➤ Technologie S-B-V (Schwel-Brenn-Verfahren)

Technologii postavili v roce 1988 dle patentu firmy Siemens – KWU na zkušební jednotce v Ulm-Weiblingenu. O deset let déle postavili komerční jednotku ve Fürthu.

Rozdrolený směsný odpad s kalem z čistíren je zpracováván v rotačních pyrolýzních pecích, kde je ohříván na teplotu 450 °C. Z pevných zbytků je na sítích separováno kamení, sklo a kovy, jež byli součástí primární suroviny. Pyrolýzní plyn je při teplotě 1200 – 1300 °C spalován současně s pevným zbytkem. Vzniklou strusku lze použít jako příměs do portlandských cementů či uložit na skládkách. Spaliny jsou odsířovány, denitrifikovány a zbaveny PCDD a PCDF adsorpční metodou.



Zdroj: [http:// paliva.vscht.cz/download.php?id=76](http://paliva.vscht.cz/download.php?id=76)

Obr. 20 Schéma pyrolýzního procesu jednotky S-B-V

➤ Technologie Vortex-SERI (Solar Energy Research Institute)

V Coloradu byla firmou SERI postavena jednotka, jenž přeměňuje pevné organické látky a biomasu v kapalné produkty.

Usušená vstupní surovina (fakticky pelety z měkkého dřeva) je přiváděna tangenciálně do reaktoru, který je nepřímo zahříván na teplotu kolem 625 °C. Surovina reaktorem rychle postupuje, pevné podíly se v reaktoru zdrží delší čas než uvolněný plyn.

Pilotní zařízení zatím nebylo zrealizováno jako komerční jednotka kvůli příčinám se zanášením reaktoru složkami o velké hustotě a potížím s abrazí (Jílková, 2012).

4 Využití pyrolýzy při zneškodnění odpadů

V nedávné době se začaly vyskytovat termické technologie ke zpracování různých odpadních materiálů, obsahující uhlík v jeho rozmanitých podobách a sloučeninách (Enviweb.cz, 2013).

Postup přeměny plastového odpadu na lehký topný olej, nebo jiné cenné materiály pomocí tepelných procesů, umožňuje správné nakládání se smíšenými i nesmíšenými plastovými odpady (Scheirs & Kaminsky, 2006).

4.1 Technologie Pyromatic

V této podkapitole bych chtěla vysvětlit pyrolýzní proces a popsat nový koncept pyrolýzní technologie pojmenovanou **PYROMATIC**.

Firma Arrowline a. s. v kooperaci s Vysokou školou báňskou – Technická univerzita Ostrava a v kooperaci s dalšími členy Klastru Envicrack vytvořila a instalovala v 05/2009 do poloprovozu naprosto unikátní pyrolýzní technologii ke zpracování odpadů s výkonem a potenciálem likvidace 50 – 200 kg/h odpadní hmoty.

Tato jedinečná pyrolýzní jednotka nesoucí název **PYROMATIC** je stále předmětem navazujícího vývoje a vylepšování nejenom za spoluúčasti vysokých škol, ale i za spoluúčasti multioborově orientovaných firem ze záměrem garantovat nezbytné zázemí a servis.

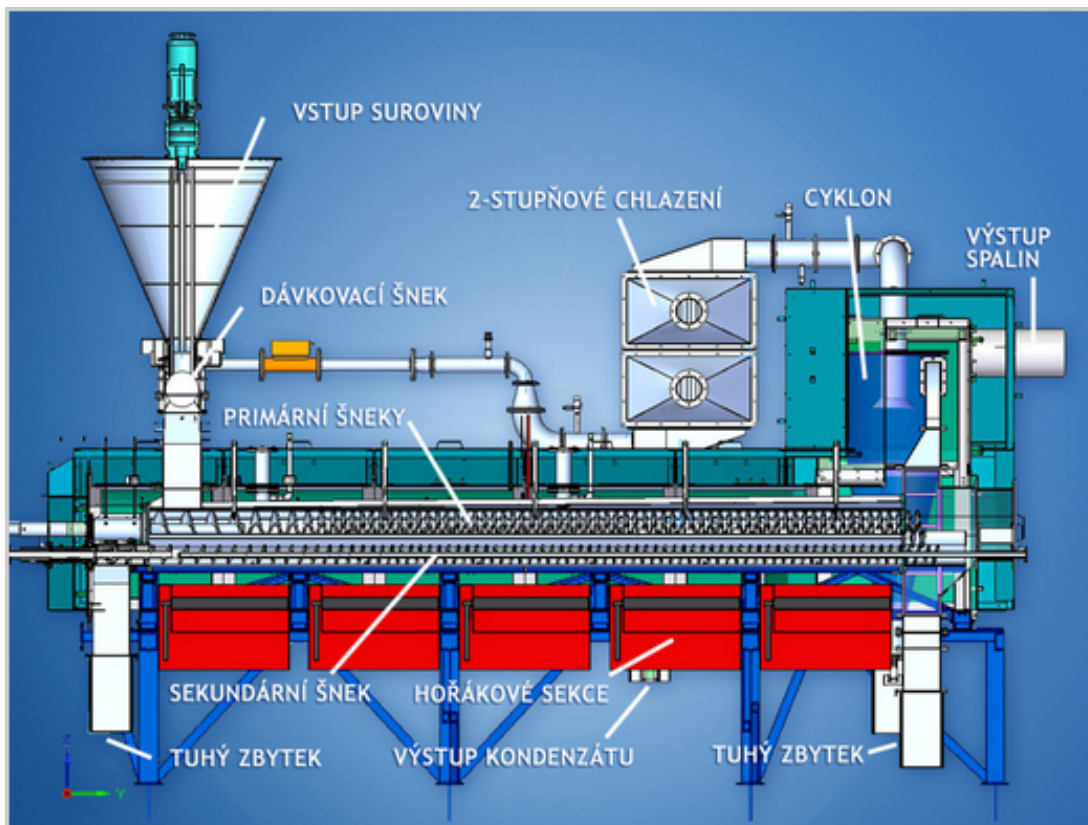
PYROMATIC je moderní výkonné technologické zařízení, jenž pyrolýzním zpracováním odpadů dovoluje redukovat a energeticky valorizovat rozsáhlé spektrum odpadních hmot (pneumatiky, plasty, uhlí, biomasu, směsi odpadů aj.) a transformovat odpady na dále užítkovatelné materiály.

Charakteristika zařízení PYROMATIC

Mechanicky zpracovaný materiál je odvážen na žádanou hmotnost a následně dávkován pásovým dopravníkem do vzduchotěsně uzavřeného zásobníku, jenž je propírán inertním plynem k zamezení vstupu oksylichovacích medií do pyrolýzního procesu. Sotva je pec zahřata na žádanou teplotu, je surovina pozvolna dávkována do pyrolýzní retorty. Materiál setrvává v pyrolýzní jednotce minimálně 30 minut (Arena, 2006).

Pyrolýzní jednotku zahřívají v pěti sekcích uspořádané plynové hořáky, jenž jsou napájeny propanem a umožňují dosáhnout maximální provozní teploty až 800 °C. Pyrolýzní surovina je rozkládána na pevný uhlíková zbytek, jenž je odebírán do popelového boxu, kterým je zakončena pyrolýzní trasa a plynné fáze, jenž je odváděna potrubím z retorty do cyklonu. V cyklonu nastává zpomalení proudu plynu a prostřednictvím gravitace jsou oddělovány pevné znečišťující látky. Vyčištěný plyn je dále jímán do primárního ochlazovacího stupně s výměníkem (pyrolýzní plyn – vzduch). Sekundární chlazení je tvořeno výměníkem pyrolýzní plyn – voda, jenž podchlazuje plyn tak, aby v potrubí již dále nekondenzoval. Vytvořený kondenzát ochlazováním pyrolýzního plynu je hromaděn v nádrži pro kapalnou pyrolýzní fázi. Nádrž disponuje míchadlem proti usazování těžkých uhlovodíků.

Pyrolýzní jednotka je ovládána skrze počítač. Výstupy odběrové sondy vedou do skříně s analyzátory, kde jsou prováděny rozboru H₂, CO, CO₂, CH₄ a TOC.



Zdroj: <http://www.strobo.cz/editor.php?kategorie=1023sekce=1008>

Obr. 21 Schéma pyrolýzní jednotky PYROMATIC

Odpadní suroviny, primární analýzy

Zkoušené odpady

Na jednotce PYROMATIC byly se zřetelem na pyrolýzní proces zkoušeny hlavně kaučukové suroviny a to odpadní pneumatiky.

Důvody pro volbu odpadních pneumatik jako primární vstupní suroviny:

- Každoroční zvyšování množství odpadních pneumatik disponujících nízkou životností.
- Pneumatiky nelze biologicky rozložit, tavit, rozpouštět.
- Shromažďováním pneumatik vzniká velká environmentální otázka „Co s nimi“.
- Jen 20 % z celkového množství pneumatik je různorodými technologiemi recyklováno, 80 % je stále ukládáno na skládky.
- Pro pyrolýzní testy lehce dosažitelná surovina.

Základní popis a analýza odpadních pneumatik

Pneumatiky jsou složeny z gumy, textilních a ocelových výztuží.

Guma je tvořena:

- 27% syntetickými elastomery (poly-butadien, styren-butadien, polyizopren)
- 14% přírodními elastomery
- Sírou a složkami obsahující síru
- Oxidem zinku
- Uhlovodíkovými oleji
- Chemickými sloučeninami (stabilizátory, antioxidanty atd.)

V pneumatikách jsou z 30% obsaženy saze jakožto zpevňovací plnidlo. Rozpadem odpadních pneumatik se vytvářejí saze s obsahem anorganických sloučenin.

Před začátkem testovacích zkoušek na pyrolýzní jednotce se vzorky pneumatik podrobily v laboratořích VŠB – TUO elementárním rozborům, jež se zaměřovaly na určení konvenčních prvků (uhlík, vodík, kyslík, síra, dusík).

Laboratorně přepravený popel z pneumatik byl podroben práškové RTG difrakční analýze, jež byla použita k rozšíření informací o obsahu dalších prvků a sloučenin. Vzorek určený k analýze nebyl zvláště upravován, byl jen v třetí misce homogenizován a na skleněný nosič nanesen. K měření byl použit zcela automatizovaný přístroj difraktometr URD-6, měření a vyhodnocení bylo provedeno v programu RayfleX. Ke kvalitativnímu vyhodnocení byla využito databáze dat PDF-2 (verze 2001).

Vyhodnocení výstupních produktů – materiálová bilance

Pyrolýzní zkoušky měly prověřit změnu váhových bilancí odpadních pneumatik při různých teplotách za předpokladu, že ostatní antecedence zůstanou zachovány.

Před jednotlivými pokusy byla retorta zahřáta na žádanou teplotu. Rozklad se odehrává pokaždé za neměnné teploty.

Výchozí měřítka a antecedence pyrolýzních zkoušek:

- ✓ Zrno materiálu o velikosti do 30 mm
- ✓ 20% humidita materiálu

- ✓ Hmotnost násypu vstupní suroviny 20 kg
- ✓ Doba setrvání vstupní suroviny v retortě 40 min
- ✓ Rychlost šneku během dávkování 600 l/min
- ✓ Sypná hustota pneumatik 500 kg/m³
- ✓ Zachovávání nízkého podtlaku dosahujícího desítky Pascalů

Na podkladě měření byl zjištěn vznik tří pyrolýzních produktů, jejich kvantum a hmotnostní bilance.

Pyrolýzní produkty:

- I. Tuhé stadium – pyrolýzní uhlík (s)
- II. Kapalně stadium – pyrolýzní olej (l)
- III. Plynné stadium – pyrolýzní plyn (g)

Vyhodnocení celého pyrolýzního procesu

Rezultát hmotnostních bilancí, prokázal hypotézu, že s rostoucí teplotou nastává vyšší vývin plynu. Reciproční relace výstupních produktů není závislá jen na vstupní antecedenci (organická/anorganická složka), avšak je závislá hlavně na teplotě, době setrvání, dávkovací rychlosti vstupní suroviny. Vzhledem k velkému rozsahu a rozmanitosti odpadních materiálů, musí mít pyrolýzní proces nastaveny nejlepší podmínky, aby bylo ve výsledku dosaženo nejlepšího zužitkování produktů.

Současné testy a analýzy demonstrovaly, že pyrolýzní technologie je vhodný způsob využití energetického potenciálu, jenž se skrývá v odpadu a to ekologickou cestou v podobě elektrické a tepelné energie (Enviweb.cz, 2013), (Zadgaonkar, 2006).

4.2 Technologie Pyrolun

Pyrolun – technologie mnohokonturové cirkulační pyrolýzy (MCP) je jedinečná v tom, že reguluje velikost destrukce veškeré hmoty vysoce molekulárních polymerových odpadů, jenž se v obvyklých přírodních podmínkách nerozloží. Výsledkem je vyrobení kapalného a vysoce kvalitního paliva lehkých složek pyrolýzního plynu a tuhého rezidua (pyrokarbonu) v počátečním stadiu.

Technologie při nejvyšším stupni rozkladu nevyžaduje použití meziprostorových urychlovačů, čímž se výrazně diferencuje od ostatních analogických technologií.

Z jedné tuny polymerových odpadů je možné vytěžit 650 až 850 kg kapalného paliva lehkých složek, jenž je možno využít jako alternativní palivo k vytápění, či ho je možno přimíchávat do výše 20% podílu do běžného diesellového paliva pro pohony s vnitřním spalováním, kupříkladu nákladních aut a zároveň je palivo mrazuvzdorné, jelikož kapalná složka pyrolýzního paliva rozpouští těžké parafinové sloučeniny, které jsou obsaženy v běžném diesellovém palivu.

Technologie MCP je vytvořena na průmyslové úrovni a opatřena patentem. Je vybudováno plno testovacích zařízení, na kterých jsou prováděny zkoušky s různorodými polymerními odpady. Jedno z obdobných zařízení úspěšně absolvovalo ekologickou zkoušku v ústavu „Ekologické hygieny a toxikologie“.

Je zpracován a vykalkulován soubor modulových konstrukcí s denním výrobním objemem 1 až 24 t, jenž zajišťují trvalý tepelný provoz, při spalování vlastního kapalného paliva a pyrolýzního plynu, jenž vzniká v reaktoru během rozkladu organických odpadů.

Technologie pyrolýzy není v současnosti nic nového, především ve sféře zpracovávání obnovitelného zdroje energie (štěpka, sláma a ostatní obnovitelné zdroje). Všeobecně se jedná o technologii dovolující energetické zužitkování biomasy a tříděných odpadů založených na pyrolýze. Jedná se o moderní výrobu energie a zároveň nemalou předností je schopnost likvidovat těžko odstranitelné odpady citlivým způsobem k životnímu prostředí. Touto formou je možné zpracovávat veškeré druhy organických odpadů, tříděný odpad, komunální odpad, použité pneumatiky, nemocniční odpad, uhelný kal a některé jiné materiály.

Pyrolýzním zpracováním odpadů je možné redukovat ekologickou zátěž a množství odpadů (i nebezpečných) v životním prostředí. Produkty z procesu této technologie je možné využít nejen jako vstupní materiál k dalšímu zpracování, ale i zejména pro výrobu energie. Zařízení je energeticky nezávislé a může být v plynulém provozu 24 hodin denně 365 dnů v roce.

Plyn je možné po vyčištění použít k výrobě tepelné či elektrické energie. Podstatnou předností této metody je, že rozklad probíhá při nedostatku kyslíku a je tak redukována produkce polychlorovaných dibenzo-dioxinů resp. furanů. Z energetického aspektu je proces vyrovnaný a nezávislý. Tepelnou energii je nutné poskytnout pouze pro iniciaci.

Ucelený investiční celek pyrolýzního zpracování je zcela automatizovaný.

Pyrolýza reprezentuje rozpad organické hmoty vlivem tepla v inertní atmosféře za vytvoření tří etap:

- Plynné stadium
- Kapalné stadium
- Pevné stadium

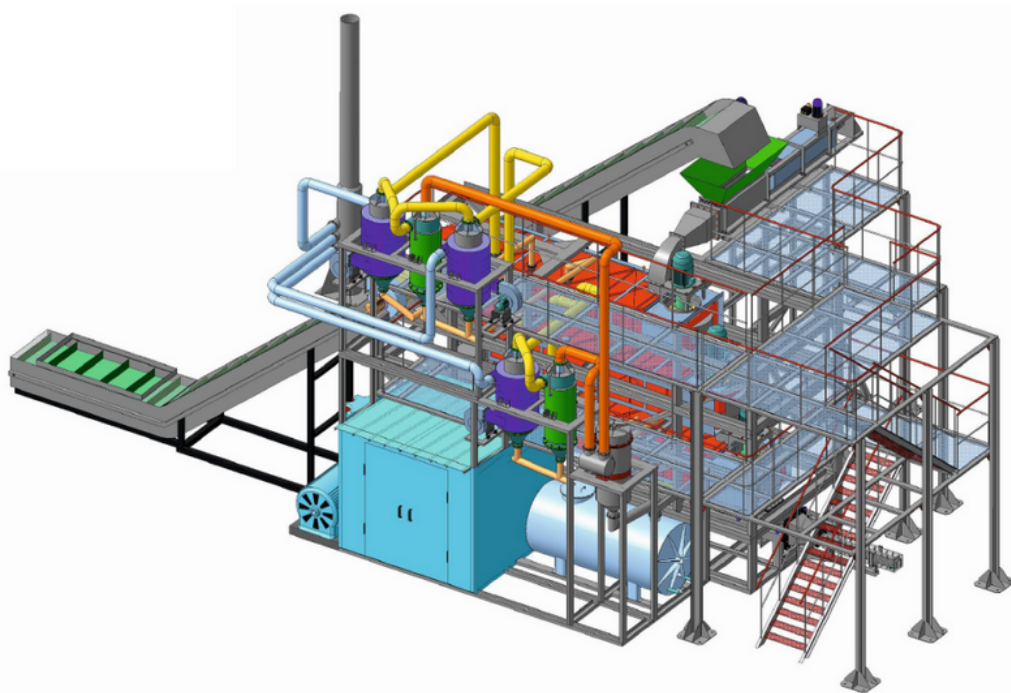
Co prezentuje pyrolýzní jednotka?	Vstupní materiál:	Produkty (100% použitelnost):
Zpracování odpadů	Pneumatiky	Pyrolýzní plyny, syntézní plyny - energoplyn
Technologie bez dalšího odpadu	Plasty a tříděný odpad	Pyrolýzní koks
Plně automatický provoz	Komunální odpad	Tekuté uhlovodíky
Bez emisí	Biologický odpad z nemocnic	Tepelná energie
Energeticky nezávislý	Koks, důlní kaly, atd.	Elektrická energie (kogenerací)
Dlouhá životnost		
Brzká návratnost a vysoká ziskovost		

Zdroj: vlastní tvorba

Tabulka č.2: Tabulka charakteristik pyrolýzní jednotky.

Přednosti zařízení:

- Efektivita procesu
- Bezemisní ekologický proces
- Celoroční úplně automatický provoz
- Technologie bez zápachu a nežádoucích vlivů na okolní prostředí
- Velká bezpečnost (nízké hodnoty přetlaku a podtlaku součástí zařízení)
- Likvidace odpadů (nebezpečných i problematických)
- Energetická soběstačnost
- Bez produkce toxických odpadů
- Využití zbytkového tepla
- Všestranné využití vstupních materiálů – odpadů
- Využitelnost výstupních produktů a jejich energetická i peněžní hodnota
- Nepřetržitý provoz dovoluje redukovat komplikovanost skladování odpadů i výstupních produktů.



Zdroj: <http://www.pyrolun.cz/popis-unikatni-technologie/>

Obr. 23 Pyrolýzní jednotka Pyrolun

Porovnání výsledků laboratorního rozboru tekutiny z pyrolýzy a klasického LTO		
	Pyrolýza	LTO
Hustota 15 oC (kg/m ³)	737,6	865
Kinematická viskozita 40 oC (mm ² /s)	0,58	6 (max.)
Bod vzplanutí (oC)	26 !*	56 (min.)
Obsah síry	0,00331	0,1 (max.)
Karbonizační zbytek	0,01	0,1 (max.)
Obsah mechanických nečistot	0,01	0,05 (max.)
Obsah vody	0,0049	0,05 (max.)
Obsah popela	0,01	0,01 (max.)

*/ Bod vzplanutí lze technicky upravit v technologii nastavením zařízení

Všechny parametry z pyrolýzy jsou lepší nebo max. stejné ve srovnání se základním vzorkem

Zdroj: <http://www.pyrolun.cz/technicke-informace-a-laboratorni-rozborny/>

Tabulka č.3: Komparace kapaliny z pyrolýzy a klasického LTO

Použité technologie

Technologické zařízení a jeho součásti vyhovují všem podmínkám pro náročné a zcela automatizované fungování. Proto jsou aplikovány velice kvalitní materiály, jenž odolají nejenom vysoké teplotě, mechanické zátěži, ale i fyzikálně-chemické reakci probíhající během zplyňování odpadu.

Žáruvzdorný materiál, kvalitní technologické zpracování, regulace a automatizace jsou pro tuto technologii nezbytností. Tyto faktory byly již zahrnuty do výzkumu a vývoje. U této technologie je počítáno s pozvolnými inovativními řešeními a procesy, které zlepší celkovou efektivitu a životnost.

Patent

Kompletní technologie pyrolýzy má svůj patent. Pyrolýzní jednotka byla testována v provozu v průmyslové formě. Firma Nazar s.r.o. je zástupcem vlastníka patentu v EU. V současnosti kooperuje na dalším vývoji a průmyslovém nasazení společně s vědci technické university VŠB Ostrava, kde je možné též spatřit zkušební verzi pyrolýzní jednotky v provozu.

Garance ekologické bezpečnosti technologického procesu

Na moderní technologické procesy termické likvidace organických částí domácích odpadů jsou kladeny přísné nároky na garanci ekologické bezpečnosti. Toxické látky se většinou skládají z mnoho molekulárních složek a rostoucí toxicita = rostoucí molekulární hmotnost složek konkrétní látky. Technologií MCP, jenž zajišťuje hluboký rozpad mnoho molekulárních složek TBO, se toxicita vstupních surovin a úniků intenzivně redukuje.

Každý termický proces specializující se na likvidaci organických zbytků, ať to je metodou spalováním, či pyrolýzou bez přístupu kyslíku, je ve větším rozsahu provázen vznikem dioxinů a furanů, jenž jsou nebezpečné pro zdraví člověka a životní prostředí. MCP se odehrává v hermeticky uzavřeném reaktoru bez přístupu kyslíku, tyto škodliviny vznikají v minimálním množství. Dioxiny a furany se rozkládají od teploty 800°C, tuto vlastnost využívá technologie Pyrolun k redukcí toxicity, jenž předpokládá kompletní spalování pyrolýzního plynu za teploty 1100 - 1200°C v plynovém hořákovém bloku, což eliminuje únik dioxinu a furanu do prostředí. Teplo kouřových plynů vznikající v plynovém hořákovém bloku je použito na udržovací teplotní režim pyrolýzního reaktoru (Pyrolun.cz, nedatováno).

Název ukazatele	Hygienické normy GOST 12.1.005-88/№3086 84mr	Skutečné hodnoty Mg/m ³ v době provozu	Skutečný stav Mg/m ³ za 15 min.	Výsledky ve srovnání s normativy
Styrol	30,0/0,04	0,05	Nezjištěno	odpovídá
Formaldehyd	0,5/0,035	0,05	Nezjištěno	Odpovídá
Benzol	15,0/1,5	Nezjištěno	Nezjištěno	Odpovídá
Xylol	60,0/0,2	Nezjištěno	Nezjištěno	Odpovídá
Aceton	200,0/0,35	Nezjištěno	Nezjištěno	Odpovídá
Fenol	0,3/0,01	0,0045	Nezjištěno	Odpovídá
Heptan	300,0/-	Nezjištěno	Nezjištěno	Odpovídá
Pentan	300,0/100,0	Nezjištěno	Nezjištěno	Odpovídá
Oktan	300,0/-	Nezjištěno	Nezjištěno	Odpovídá
Hexan	300,0/60,0	0,15	Nezjištěno	Odpovídá
Toluen	50,0/0,6	nezjištěno	Nezjištěno	odpovídá

Zdroj: <http://www.pyrolun.cz/technicke-informace-a-laboratorni-rozbor/>

Tabulka č.4: Výsledky rozboru chemických látek ve vzduchu z reaktoru

Komponenty	Faktické hodnoty mg/l	Hygienické normy PDK SanPin 4630-88(5)	Výsledky (dle normativu)
Zinek	0,005	1,0	Není
Měď	0,015,	1,0	Není
Nikl	0,01	0,1	Není
Olovo	0,01	0,03	Není
Kobalt	0,05	0,1	Není
Fenol	0,001	0,001	Není

Zdroj: <http://www.pyrolun.cz/technicke-informace-a-laboratorni-rozbor/>

Tabulka č.5: Výsledky rozboru vodního výtoku z tuhého zbytku

Diskuze

Planeta je drahocenná a pro člověka nenahraditelná. Potřeby naší velké a často přespříliš konzumní společnosti jsou obrovské. Většina lidí považuje za neodmyslitelný standard i věci a služby, které ke spokojenému životu vlastně nepotřebuje. To vše se logicky odráží na stavu přírody kolem nás a na produkci odpadu námi vyprodukovanými. Je pravda, že vliv jednoho obyčejného člověka není velký, ovšem vliv lidské populace, je v porovnání s jinými obyvateli planety nedožrnný. Lidé produkují více a více odpadů, kterými planetu znečišťují. Vznikající odpady na celém světě jsou vážnou ekologickou hrozbou.

Na Zemi je odhadem k roku (2013) vyprodukováno ročně více než 1,3 miliardy tun odpadu. Dle statistických výpočtů by se tato hodnota mohla vyšplhat do roku 2025 až na 2,6 miliardy tun odpadu ročně. Největšími producenty odpadu jsou nejbohatší světové státy, kde na prvním místě je USA, které každý den vyprodukuje okolo 620 tisíc tun odpadů, na druhém místě je Čína s produkcí 520 tisíc tun za den. V porovnání s tím vznikne v ČR denně průměrně 84 tisíc tun odpadů. Množství vyprodukovaného odpadu je dáno i vyspělostí státu a nejen velikostí daného státu a počtem jeho obyvatel. Vyspělé státy jsou na tom v odpadovém hospodářství daleko lépe. Mají lépe zpracované postupy o nakládání s odpady a možnosti jejich financování. Bez toho by doslova katastroficky zaplavily svět svými odpadky. V tomto ohledu je spojitost vyspělosti ekonomiky a vysoké životní úrovně s vyšší spotřebou a produkcí odpadů mínusem a plusem zároveň (oecd, 2013).

Lidé se všemi svými technickými vymoženostmi vytvářejí každý rok bezpočet tun nerecyklovatelného toxického odpadu a neumí si s ním pořádně poradit, když vyloučíme skládkování a spalování. Naproti tomu naše planeta dokáže dokonale recyklovat veškerý svůj odpad. Využívá k tomu důmyslné chemické procesy, které jsou součástí běžného koloběhu planety (oecd, 2013). A tím se mi naskýtá otázka, proč nejít stejnou cestou, jak sama příroda?

Donedávna se téměř vše odváželo na skládky. Skládky negativně přispívají i ke klimatickým změnám a za několik desítek let mohou způsobovat úniky závadných látek do půdy i podzemních vod. Proto hlavní myšlenkou nového odpadového zákona je, ukládání na skládky jen již nevyužitelného odpadu. Ze skládek se postupně stávají časované ekologické bomby. Přitom v podstatě vyhazujeme miliony tun potenciálních surovin. Proto

si myslím, že odpad je třeba chápat jako cennou surovinu, díky níž lze šetřit primární zdroje. Částečným řešením pro redukci skládek bylo do nedávna ekonomický stimul v podobě skládkovacích poplatků. ČR má již zákaz skládkování, které vyjde v platnost k roku 2024. Zákaz skládkování využitelných a recyklovatelných odpadů, zakotvený už ve stávajícím zákoně, má v mnoha evropských státech prokazatelně pozitivní vliv na recyklaci. Zde se naskytá otázka, jak dále naložit s odpadem, který není recyklovatelný a nebude možnost ho již uložit na skládku. V návrhu je řešením nevyužitý odpad spalovat. Je to však správné řešení z hlediska klimatických změn na naší planetě? MŽP přitom počítá s výstavbou až pěti nových spaloven a to v Komořanech u Mostu, v Přerově, Karvině, Mělníku a Opatovicích za více než 14 miliard korun. Celkem by tak v republice, kde jsou nyní čtyři spalovny, mohlo fungovat až devět těchto zařízení. Přední čeští ekologové upozorňují i na další úskalí výstavby spaloven.

Zákonné ustanovení je také jedním s dalších nástrojů pro zvýšení recyklace. Obce (jako původci odpadu) musí do roku 2020 povinně vytrídít a materiálově využít 50 % komunálního odpadu. Obce tak budou muset zajistit dostatečnou kapacitu na třídění a materiálové využití odpadu. Do doby, než vstoupí v platnost návrh nového zákona o odpadech, který je nyní v připomínkovém řízení, vychází z připravované evropské směrnice o takzvaném oběhovém hospodářství, která stanoví, že již v roce 2025 bychom měli recyklovat 60 procent komunálního odpadu. Nyní recyklujeme pouze 33 procent. V roce 2030 už to má být dokonce plných 65 procent (mzp, 2008-2015).

Ochrana celé planety je pro každého člověka velmi důležitá. Myslím si, že je na čase dát prostor novým či renomovaným technologiím. A celkově se zamyslet nad celým konceptem strategie udržitelných zdrojů, jak z hlediska národního, tak i mezinárodního. Je důležité neřešit jen jednu problematiku, ale celkovou koncepci problému. Zdůraznit, že cílem je takový rozvoj, který zajistí rovnováhu mezi sociálním, ekonomickým a environmentálním vlivem.

Po mnoho let se výzkum zabýval přeměnou plastů na užitečné uhlovodíkové kapaliny. Pyrolýza dovede zpracovat odpad v uzavřeném cyklu bez přítomnosti kyslíku s minimem úniku emisí do ovzduší a produkcí prodejního výstupu. Jak již bylo zmíněno, může být postup přeměny plastového odpadu na lehký topný olej, nebo jiné cenné materiály pomocí

tepelných procesů. Umožňuje to správné nakládání se smíšenými i nesmíšenými plastovými odpady. (Scheirs & Kaminsky, 2006).

Myslím si, že zneškodnění odpadu ekologickou cestou a šetřením primárních zdrojů energie by mohla být právě zmíněná pyrolýza. Zde bychom mohli jít chemickou cestou k zneškodnění odpadu, jako příroda sama. A právě tato cesta pro likvidaci tříděného odpadu dle mého názoru je vidinou v pyrolýzních jednotkách. Mou práci považuji za informativní o možnostech pyrolýz a jejich funkčnosti. Rozumnou cestou zpracování odpadu a využití jako suroviny se jeví pyrolýza, která svůj produkt posílá do ekonomického oběhu. Pyrolýzní jednotka je energeticky i ekonomicky soběstačná. Výstupem pyrolýzy při zpracování například pneumatik je jako kapalná složka LTO, která se dá prodat do ropných společností. Dále pevná složka v podobě pevného uhlíkového produktu, který je také žádanou a ekonomicky výhodnou surovinou, potřebnou pro výrobu pneumatik. Pyrolýza nabízí možnost je z pneumatik opět zrecyklovat a tento postup opakovat. A poslední vzniklou složkou je depolymerizační plyn, který může být využit k energetické dotaci probíhajícího procesu pyrolýzy.

O tom, co člověk dovede s životním prostředím, jsou popsány stohy papíru a další dozajista někdo v dohledné době popíše. Důležité však je si své chování uvědomovat, zamýšlet se nad ním, snažit se ho změnit a snížit tak negativní dopad na životní prostředí na minimum. Jenom tak si můžeme zachovat to, co označujeme slovem „příroda“ (PřF, 2013).

Závěr

Cílem práce bylo podat základní přehled o pyrolýzní technologii pro zpracování různorodých odpadů.

V první etapě byly vysvětleny zákonitosti pyrolýzy a procesních parametrů současně s výstupními produkty a eventualitami jejich použití. Jako výstupní produkty pyrolýzy byly popsány plynné, kapalné a tuhé látky, jejichž struktura a množství jsou závislé na procesních parametrech. Podíl těchto produktů je ve většině případech přímo použit k získávání nezbytného tepla pro pyrolýzní proces.

V další části jsme byli obeznámeni s otázkou základních pyrolýzních reaktorů, jejich konstrukcí a aplikací do procesu.

Dále jsem popsala několik technologií, jež se věnují pyrolýze v průmyslové podobě. Charakterizovala jsem zákonitosti fungování procesů, eventuálně množství a strukturu výstupních produktů. V této práci jsem zmínila jen velmi malý počet ve srovnání s tím, jak velké množství existuje či je uvedeno do provozu. Zpracování všech by vydalo nejméně na jednu knihu. Technologií pyrolýzy se zabývají všechny rozvinuté státy, jelikož se jedná o velice pozoruhodnou eventualitu, jak nakládat s odpadem a biomasou. Potíží však je, že všechny firmy uvádějí skoro nulové emise, ale malé procento je přezkoumáno nezávislými pozorováními. Také se jedná o technologii bez rozsáhlejší tradice, jež tak může mít nesnáz s pozorností investorů a s akceptací veřejnosti, jež si okamžitě představí spalovnu znečišťující ovzduší.

V poslední části jsou představeny dva typy jednotek, které aplikovali technologii pyrolýzy ke zpracování plastových odpadů v praxi.

Domnívám se, že pyrolýzní technologie má své místo v likvidaci odpadů a skýtá mnoho předností v porovnání s konvenčními metodami. Výstupní produkty by mohli i substituovat paliva pro spalovací motory.

Seznam literatury

Arena, U. and M.L. Mastellone, *Fluidized Bed Pyrolysis of Plastic Wastes*, in *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics*, J.S.a.W. Kaminsky, Editor. 2006, John Wiley & Sons, Ltd: Caserta, Italy.

Bhattacharya, S.C., A.H.M. Mizanur Rahman Siddique, and H.-L. Pham, *A study on wood gasification for low-tar gas production*. Energy, 1999.p. 285-296.

Bradáč, Josef. *Přednášky z předmětu: Základy strojírenské výroby*. ŠAVŠ Mladá Boleslav: Katedra logistiky, kvality a automobilové techniky, 2016.

Brydson, J.A. and ScienceDirect. *Plastics materials*.,ISBN: 978-0-7506-4132-6,1999 Elsevier Ltd.

Ducháček, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2006. ISBN 80-7080-617-6.

Lee, K.H., *Thermal and Catalytic Degradation of Waste HDPE*, in *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics*, J. Scheirs and W. Kaminsky, Editors. 2006, John Wiley & Sons, Ltd: Korea.

Prokopová, I. *Makromolekulární chemie*. 2. vydání. Praha: VŠCHT Praha, 2007. ISBN 978-80-7080-662-3.

Ptáček, Luděk. *Nauka o materiálu*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1999. ISBN 80-7204-130-4.

Scheirs, J. and W. Kaminsky, *Feedstock recycling and pyrolysis of waste plastics : converting waste plastics into diesel and other fuels*. Wiley series in polymer science, ed. J. Scheirs. 2006, Austrilia: John Wiley & Sons, Ltd., ISBN: 9780470021521

Štěpek, Jiří, Antonín KUTA a Jiří ZELINGER. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury (SNTL), 1989.

Uemichi, Y., et al., *Conversion of polyethylene into gasoline-range fuels by two-stage catalytic degradation using silica-alumina and HZSM-5 zeolite*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 1999

Zadgaonkar, A., *Process and Equipment for Conversions of Waste Plastics into Fuels*, in *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics*, J.S.a.W. Kaminsky, Editor. 2006, John Wiley & Sons, Ltd: Nagpur India.

Seznam internetových odkazů

Horák, Miloš. Pyrolýza. Adeptts.cz [online]. Advanced Development Technologies, nedatováno [cit. 2016-12-19]. Dostupné z: <http://www.adeptts.cz/soubory/pyrolyza.pdf>

Jílková, Lenka, Karel CIAHOTNÝ a Radek ČERNÝ. Technologie pro pyrolýzu paliv a odpadů. *Paliva* [online]. 2012, **2012**(3) [cit. 2016-12-24]. Dostupné z: <http://paliva.vscht.cz/download.php?id=76>

Pavlík, Petr. Pyrolýzní technologie pro možnosti energetického a materiálového využití odpadů [online]. nedatováno [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://zeleninj.cz/wp-content/uploads/sites/4/2015/11/Pyrol%C3%BDzn%C3%AD-technologie-Ing.-Petr-Pavl%C3%ADk.pdf>

Polykondenzace. Chemie Informace od A do Z [online]. 2015 [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://chemie.g6.cz/?p=220>

Polymerace. Xantina.hyperlink.cz [online]. 2005 [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <https://xantina.hyperlink.cz/organika/polymerace.html>

Popis unikátní technologie. Www.pyrolun.cz [online]. [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <http://www.pyrolun.cz/popis-unikatni-technologie/>

PřF, UK v Ph, www.prirodovedci.cz, Andwerb, s.r.o.[online] 2013. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z <https://www.prirodovedci.cz/biolog/clanky/sedm-zpusobu-jak-nicime-zivotni-prostredi>

Pyrolýza odpadů - moderní způsob jejich zneškodnění. Enviweb.cz [online]. 2013 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/odpady/94618/pyrolyza-odpadu-moderni-zpusob-jejich-zneskodneni>

Studie zařízení na pyrolytický rozklad odpadů [online]. 2010 [cit. 2016-12-26]. Dostupné z: http://www.opzp_2007_-_2013.cz/ke-stazen-i/252/10821/detail/studie-zarizeni-na-pyrolyticky-rozklad-odpadu-i/

www.oecd.org, www.vitejnazemi.cz EST, CENIA,Partneři,[online].2013 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=odpady_a_svet_globalni_pohled&site=odpady

www.mzp.cz, ČR [online]. 2008 – 2015 [cit. 2017-03-31]. http://www.mzp.cz/cz/news_160505_zakon_odpady

Seznam Tabulek a obrázků

Obr. 1 Příklady výrobků z plastů	3
Obr. 2 Základ termoplastů a jejich zpracování	4
Obr. 3 Základ reaktoplastů a jejich zpracování	5
Obr. 4 Grafické znázornění polyreakce ethylenu	6
Obr. 5 Světová spotřeba plastů [v milionech tun].....	9
Obr. 6 Produkce odpadů v ČR 2002-2014.....	9
Obr. 7 Produkce komunálních odpadů v ČR 2002-2014.....	10
Obr. 8 Grafické schéma pyrolýzy	15
Tab.č.1 Produkty pyrolýzního procesu při zpracování různého druhu odpadu	16
Obr. 10 Pálení dřevěného uhlí v milíři.....	17
Obr. 11 Chemička v Záluží.....	17
Obr. 12 Technologie Lurgi	19
Obr. 13 Technologie Lurgi-Ruhrgas.....	20
Obr. 14 Schéma procesu pyrolýzy BTG realizovaného v Malajsii	21
Obr. 15 Schéma procesu pyrolýzy Pyrovac v Kanadě.....	22
Obr. 16 Schéma reaktoru pyrolýzní jednotky Bioliq.....	22
Obr. 17 Schéma pyrolýzního procesu RTP.....	23
Obr. 18 Schéma pyrolýzního procesu BTO.....	24
Obr. 19 Schéma pyrolýzního procesu jednotky Thermoselect	25
Obr. 20 Schéma pyrolýzního procesu jednotky S-B-V	26
Obr. 21 Schéma pyrolýzní jednotky PYROMATIC.....	29
Tab.č.2 Tabulka charakteristik pyrolýzní jednotky.	33
Obr. 23 Pyrolýzní jednotka Pyrolun	34
Tab.č.3 Komparace kapaliny z pyrolýzy a klasického LTO.....	34
Tab.č.4 Výsledky rozboru chemických látek ve vzduchu z reaktoru	36

Tab.č.5 Výsledky rozboru vodního výtoku z tuhého zbytku.....	36
--	----